

**POLITECNICO DI TORINO**  
Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica  
Tesi di Laurea

Sistemi di telecontrollo per l'illuminazione pubblica: analisi critica di  
soluzioni esistenti e scenari futuri



**Politecnico  
di Torino**

**Relatrice:**

Prof.ssa Anna Pellegrino

**Candidato:**

Mirco Azzolina



## Sommario

1.	Introduzione .....	6
2.	Cosa è un sistema di telecontrollo .....	9
2.1.	Una classificazione dei sistemi di telegestione.....	9
2.2.	Architettura dell'infrastruttura e compiti principali.....	10
2.2.1.	Monitoraggio dello stato della lampada .....	13
2.2.2.	Monitoraggio dei parametri elettrici.....	14
2.3.	Architetture di rete e tecnologie di trasmissione.....	15
2.3.1.	Reti cablate .....	15
2.3.1.1.	Reti wireless.....	17
2.3.1.2.	Reti cellulari .....	17
2.3.1.3.	LPWAN non cellulari .....	19
2.3.1.4.	Reti a maglia .....	21
2.3.2.	Tecnologie di comunicazione per infrastrutture di illuminazione intelligente: conclusioni .....	22
2.4.	Risparmio energetico.....	23
2.4.1.	Monitoraggio remoto del corpo illuminante.....	23
2.5.	Regolazione del flusso luminoso della luce.....	24
3.	Normative di Riferimento.....	25
3.1.	Norma UNI 11248.....	25
3.1.1.	Parametri di influenza .....	26
3.1.2.	Illuminazione adattiva (TAI-FAI) .....	29
3.2.	Criteri Ambientali Minimi .....	31
4.	Sistemi di telecontrollo presenti sul mercato .....	36
5.	Sistema di telecontrollo nella città di Torino.....	48
5.1.	Funzionamento.....	49
5.2.	Architettura RTU.....	50
6.	Protocollo MODBUS .....	55
6.1.	Descrizione generale .....	55
6.1.1.	Descrizione del protocollo.....	55
6.1.2.	Modello dati MODBUS .....	58
6.1.3.	Definizione della transazione MODBUS .....	59
6.1.4.	Categorie di codici funzione .....	61
6.1.5.	Risposte di eccezione MODBUS.....	62
6.2.	MODBUS Messaging on TCP/IP .....	64
6.2.1.	Architettura generale della comunicazione .....	65

6.2.2.	Unità dati applicazione MODBUS su TCP/IP .....	67
6.2.3.	Descrizione dell'intestazione MBAP .....	68
6.2.4.	Modello di architettura dei componenti MODBUS .....	70
6.3.	Miglioramenti al sistema attuale.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
7.	Criticità dei sistemi di telecontrollo.....	74
8.	Sistemi di telecontrollo in via di sviluppo.....	87
8.1.	Sistema di telecontrollo basato sulle condizioni ambientali .....	88
8.1.1.	Conclusioni .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
8.2.	Sistema di telecontrollo in funzione degli utenti .....	98
8.2.1.	Analisi .....	107
9.	Conclusioni .....	109
10.	Bibliografia.....	112



## 1. Introduzione

La popolazione mondiale cresce a un ritmo sempre più veloce, con la maggior parte delle persone che vivono in città, l'idea di creare una città più vivibile e sostenibile sta diventando sempre più importante. Le proiezioni mostrano che entro il 2030 ci saranno più di 41 mega-città in tutto il mondo (con più di 10 milioni di persone ciascuna), con un incremento significativo rispetto alle attuali 28 mega-città. Di conseguenza, la percentuale della popolazione residente nelle aree urbane dovrebbe raggiungere il 66% entro il 2050, rispetto al 54 % attuale. Dal momento che le città rappresentano già il 75% del consumo energetico mondiale e contribuiscono per oltre l'80% alle emissioni globali di gas serra, ci sono preoccupazioni crescenti sulla disponibilità e sul costo dell'energia, nonché sull'impatto ambientale per generarla.

La soluzione a tali problemi arriverà da diversi campi: fonti di energia rinnovabile, cogenerazione, mobilità elettrica, sistemi di riscaldamento e raffrescamento e tecnologie di illuminazione, solo per citarne alcune. Sicuramente un ruolo chiave sarà svolto dall'Informazione e dalle tecnologie della comunicazione (ICT), che hanno creato nuove opportunità per migliorare la qualità della vita nelle aree urbane con soluzioni intelligenti ed energeticamente efficienti. Le ICT, le comunicazioni e il paradigma dell'Internet of things (IoT), trasformeranno le città tradizionali in città intelligenti, fornendo l'infrastruttura centrale alla base di servizi pubblici più efficienti. Questo processo in realtà è già iniziato: all'inizio del 2018 oltre 1000 progetti pilota di smart city erano pronti o in costruzione in tutto il mondo. In questo quadro però, attualmente, gli impianti di illuminazione, soprattutto nel settore pubblico, sono ancora progettati secondo i vecchi standard di affidabilità e spesso non sfruttano gli ultimi sviluppi tecnologici. Nel mondo di oggi, il 60% dell'elettricità prodotta viene utilizzata per l'illuminazione stradale a causa del suo funzionamento continuo durante le ore notturne e di conseguenza il consumo di energia derivante dall'illuminazione

stradale sarà una quota sempre più significativa del consumo energetico delle città e un onere crescente per i bilanci municipali. I sistemi di illuminazione stradale convenzionali che sono attualmente ancora prevalenti nei paesi in via di sviluppo soffrono di alti consumi di elettricità a causa di una progettazione inefficiente e causano elevati problemi ambientali. In molti casi si tratta di amministratori di impianto che non hanno ancora completato la restituzione delle spese derivanti dalla realizzazione degli impianti esistenti. Spesso soffriamo di cattiva illuminazione della città nella maggior parte delle nostre città. Nella maggior parte delle città i lampioni spesso non sono efficienti. Anche le luci usate nella maggior parte delle città sono molto vecchie e fioche e non sostituite da nuove luci. Queste luci consumano anche molta energia ed energia, il che è dannoso per l'ambiente e per l'economia. In molte città i lampioni sono accesi quasi sempre e non c'è nessuno a controllarli. Queste luci vengono accese anche durante il giorno, con conseguente spreco di energia e consumo eccessivo di elettricità. Inoltre, molti impianti di illuminazione stradale esistenti, hanno consumi di energia e costi di manutenzione elevati rispetto a sistemi più efficienti dal punto di vista energetico utilizzati nei paesi più sviluppati. I sistemi funzionano ancora in base a interruttori ON/OFF o su sensori temporizzati per automatizzare le operazioni di commutazione. La maggior parte del costo dell'illuminazione stradale deriva dalle spese di manutenzione e di esercizio, e non dai costi di acquisto (costi hardware). Ad esempio, il costo totale di un tipico impianto di illuminazione stradale di oltre 25 anni è suddiviso come segue: 85% manutenzione/funzionamento (incluso alimentazione) e il 15% del costo di acquisto. Perciò, la riduzione del consumo di energia e minimizzazione dei costi di manutenzione diventano le considerazioni primarie la progettazione dell'impianto di illuminazione stradale. Tuttavia, la recente crescente pressione legata ai costi delle materie prime e la maggiore sensibilità sociale alle problematiche ambientali stanno portando i produttori a sviluppare nuove tecniche e tecnologie che consentono notevoli risparmi sui costi e un maggiore rispetto per l'ambiente. Il principio fondamentale alla base dell'illuminazione stradale intelligente è offrire la luce solo

se è necessaria e controllare in modo efficace il livello luminoso delle strade per le persone.

Lo scopo principale di questa tesi è proprio quello di indagare lo stato attuale degli impianti di illuminazione, con un focus particolare sulla città di Torino, e capire come questi si evolveranno e come cambieranno le nostre città attraverso l'evoluzione delle loro funzioni, portandoci verso un mondo più green a minor impatto ambientale.

## 2. Cosa è un sistema di telecontrollo

Un sistema di telecontrollo è composto da un insieme di apparecchiature elettroniche, installate all'interno o nei pressi del quadro di comando, in grado di raccogliere dati relativi al funzionamento dell'impianto di illuminazione (valori elettrici, allarmi, ecc.), collezionare e registrare gli eventuali dati relativi ai singoli punti luce e trasmetterli al centro di controllo detto anche gateway se svolge la funzione di concentratore; moduli elettronici detti nodi, opzionali, installati nei pressi della lampada, per raccogliere le misure relative ai punti luce e trasmetterli ai gateway; un singolo PC o un server (anche in cloud) dotato di uno o più canali di comunicazione, in grado di ricevere i dati dai gateway, di fare analisi, presentare dati e inoltrare messaggi (e-mail, sms) ai tecnici reperibili. Il tutto con la possibilità di comandare accensioni e spegnimenti regolari il flusso luminoso emesso dagli apparecchi. Devono poi essere scelti i sistemi di comunicazione più adatti tra quelli disponibili: GSM (semplice da installare e molto flessibile), rete ethernet cablata (di complicata installazione ma più sicura ed affidabile), 3G/4G (di semplice installazione, più complessa configurazione ma migliore affidabilità e velocità di trasmissione), WIFI, Radio Frequenza, Onde convogliate, questi ultimi due per la comunicazione verso gli apparecchi di illuminazione.

### 2.1. Una classificazione dei sistemi di telegestione

Si può adottare una classificazione su 4 livelli in funzione della completezza e versatilità del sistema.

Livello 1 – Sistema Stand Alone

Non comunica a distanza, modifica autonomamente i livelli di illuminazione durante la notte

Livello 2 - Telecontrollo

Comunicazione unidirezionale: da periferica al Centro di Controllo che riceve gli stati, gli allarmi e le misure

### Livello 3 - Telegestione

Comunicazione bidirezionale: la periferica comunica al Centro di Controllo gli stati, gli allarmi e le misure di ogni singolo punto luce; il Centro di Controllo può interagire con la periferia per modificare le programmazioni, le impostazioni o addirittura in real time per comandare accensioni, spegnimenti e regolazioni di luce in ogni singolo punto luce

### Livello 4 – Telegestione e Interoperabilità

Comunicazione bidirezionale: la periferica comunica al Centro di Controllo gli stati, gli allarmi e le misure di ogni singolo punto luce; il Centro di Controllo può interagire con la periferia per modificare le programmazioni, le impostazioni o addirittura in real time per comandare accensioni, spegnimenti e regolazioni di luce in ogni singolo punto luce, tramite un software aperto e che interagisce con altri sistemi in ottica “smart city”.

Interagisce in tempo reale con sensori (luce solare – meteo - traffico ecc.), per garantire la maggiore sicurezza e il maggior risparmio energetico. Predisposto per consentire la trasmissione dati di sistemino lighting (Wi-Fi, videosorveglianza, sensori gas, smart parking ecc.)

## 2.2. Architettura dell'infrastruttura e compiti principali

L'architettura più generale di un'infrastruttura di illuminazione pubblica intelligente è mostrata nella Figura seguente, che delinea tutte le componenti principali, ovvero il centro di controllo, la rete di comunicazione (il core network in Figura) e il controller della luce (light controller).

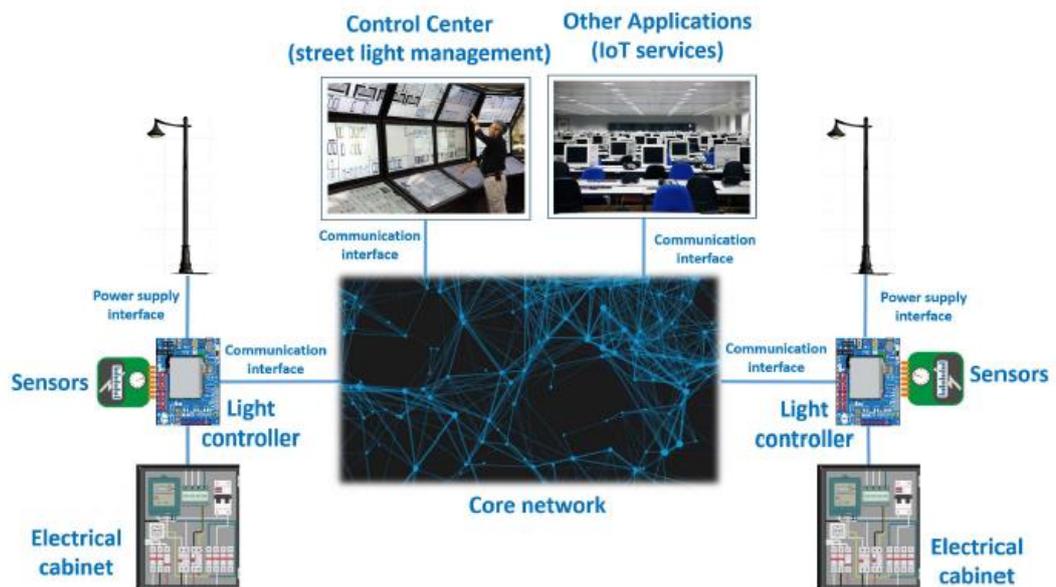


Figura 1

Il centro di controllo è l'ufficio di gestione dell'infrastruttura: comanda/configura (es. light-on, light-off, regolazione del flusso luminoso) ogni lampione e monitora le condizioni operative dell'infrastruttura per scopi di manutenzione. Lo scambio di comandi/informazioni tra il Centro di Controllo e ciascun lampione stradale avviene attraverso la rete di comunicazione, che deve fornire una copertura adeguata su tutta l'area in cui sono installati i corpi illuminanti. Infine, i light controller sono i componenti intelligenti dei lampioni, in quanto eseguono i comandi ricevuti dal Centro di Controllo e rimandano indietro le informazioni richieste. In una prospettiva di smart city, i light controller possono anche essere dotati di sensori IoT (ad es. per la valutazione del traffico o monitoraggio della qualità dell'aria), le cui misurazioni sono trasmesse a specifici centri di gestione (rappresentati nella Figura 1 come Altre applicazioni). Anche nella loro versione base, i light controller sono responsabili di quattro compiti principali:

- 1: monitorare in tempo reale lo stato dell'apparecchio
- 2: monitorare in tempo reale i parametri elettrici dell'apparecchio
- 3: pilotare l'alimentatore, in modo da attenuare l'intensità della luce
- 4: stabilire un collegamento per comunicare con il Centro di Controllo.

Il completamento dell'attività 1 e dell'attività 2 consente una manutenzione tempestiva, che si traduce in interruzioni più brevi e minori costi operativi.

Come mostrato nella Figura, i light controller hanno due interfacce principali. L'interfaccia di alimentazione consente di comandare la regolazione della luce e raccogliere i dati relativi ai parametri elettrici, mentre l'interfaccia di rete consente lo scambio bidirezionale di informazioni tra light controller e centro di controllo.

Per quanto riguarda l'interfaccia di alimentazione, che riguarda i Task 1, 2 e 3, ci sono due modalità per stabilire un collegamento di comunicazione tra light controller e l'alimentazione: tramite un segnale pilota analogico 0-10 V o tramite un bus digitale. Nel primo caso, il light controller emette un segnale pilota, la cui tensione viene interpretata dall'alimentatore come percentuale di luce che deve essere fornita (ad es. 1 V = 10%, 5 V = 50%, 10 V = 100%). In quest'ultimo caso viene utilizzato un bus digitale bidirezionale.

Quando viene adottata questa soluzione, la scelta più comune è il DALI. In questo caso lo scambio di dati avviene tramite un protocollo seriale asincrono su bus a due fili, con una velocità di trasferimento dati fissa di 1200 bit/s. Le comunicazioni bidirezionali consentite dal DALI sono sicuramente un grande vantaggio rispetto al controllo unidirezionale 0–10 V. Inoltre, il DALI permette di gestire le seguenti funzionalità:

- regolazione del flusso luminoso della luce
- rilevamento guasti
- possibilità di inviare dati relativi allo stato della lampada

- capacità di inviare informazioni di tipo elettronico (es. tensione, corrente e fattore di potenza).

DALI ovviamente comporta un costo aggiuntivo dovuto all'elettronica aggiunta e, in caso di risoluzione dei problemi di regolazione del flusso luminoso, è anche più complesso dal punto di vista diagnostico. Tipicamente, quando il DALI viene adottato in un lampione smart, è integrato nel light controller di ogni apparecchio.

Per quanto riguarda l'interfaccia di comunicazione (Task 4), si possono adottare diverse soluzioni, sia cablate sia senza fili.

#### 2.2.1. Monitoraggio dello stato della lampada

Ai fini della manutenzione, l'informazione più importante su un apparecchio di illuminazione è se la sua lampada funziona correttamente o meno. A tal fine, il light controller può adottare due approcci:

- si affida al bus DALI per scambiare informazioni direttamente con l'alimentatore, che provvede alla misura dei parametri elettrici in forma digitale
- scambiare informazioni con un contatore di energia, per diagnosticare eventuali guasti ai moduli LED confrontando il consumo energetico finale effettivo previsto.

Entrambe le soluzioni consentono di rilevare non solo guasti totali degli apparecchi di illuminazione, ma anche parziali malfunzionamenti dovuti a guasti di una frazione dei molti chip LED di una lampada, che di fatto portano a una sensibile riduzione dei consumi energetici. Infatti, l'evento di un malfunzionamento parziale di un apparecchio a LED non è raro. Di solito è dovuto a picchi di alta tensione, generati ad esempio da fulmini non totalmente filtrati dalle protezioni contro le sovratensioni, che potrebbero danneggiare solo alcuni chip LED.

### 2.2.2. Monitoraggio dei parametri elettrici

I light controller possono essere differenziati anche in base alla quantità e alla qualità delle informazioni che possono acquisire sulla rete elettrica. Ad esempio, al di là del consumo di potenza attiva e reattiva, ulteriori parametri possono essere di interesse: tensione, corrente, fattore di potenza ( $\cos \phi$ ), consumo medio (orario, giornaliero, settimanale, mensile, annuale). L'acquisizione in tempo reale di tali valori trasforma i light controller in un analizzatore distribuito dell'intero impianto. Le informazioni raccolte, anche se non direttamente interessate dall'obiettivo di risparmio energetico, sono utili per ottimizzare la manutenzione dell'impianto di illuminazione. Ad esempio, guasti hardware e i guasti possono essere rilevati immediatamente e, in alcuni casi, addirittura anticipati. Il monitoraggio in tempo reale consente quindi una manutenzione predittiva, che riduce le spese evitando costose riparazioni d'emergenza, che a volte richiedono anche modifiche alla circolazione veicolare. Inoltre, in tempo reale fornisce dati approfonditi sulle condizioni operative della rete elettrica cittadina cui è connesso, che sono informazioni preziose per il gestore della rete. In termini di requisiti tecnici, un monitoraggio in tempo reale di una moltitudine di parametri richiede prestazioni superiori, ma consente una più efficace gestione dell'infrastruttura.

## 2.3. Architetture di rete e tecnologie di trasmissione

La questione fondamentale che deve essere affrontata quando si progetta un'infrastruttura di illuminazione intelligente è come stabilire un collegamento tra ogni lampione e il Centro di Controllo. Data la staticità delle infrastrutture di illuminazione, possono essere adottate reti sia cablate che wireless, tenendo presente il vincolo che il Centro di Controllo deve avere la possibilità di gestire ogni singolo apparecchio individualmente.

### 2.3.1. Reti cablate

Il modo più semplice per integrare tutti gli apparecchi di illuminazione pubblica in una rete cablata è sfruttare le linee elettriche esistenti per veicolare anche segnali dati. Questa è Power Line Communication (PLC), che trasforma la rete elettrica convenzionale in una infrastruttura di comunicazione. I sistemi PLC possono essere classificati in base alla loro larghezza di banda:

- PLC a banda larga (1,8–100 MHz), che fornisce una velocità di trasmissione dati dell'ordine di Mbps con una copertura di poche centinaia di metri
- PLC a banda stretta (3–500 kHz), che fornisce velocità dati dell'ordine di poche centinaia di kbps oltre diversi chilometri
- PLC a banda ultra stretta (125–3000 Hz), che trasmette velocità dati molto basse (circa 100 bps) a decine o addirittura centinaia di chilometri.

Il PLC a banda larga e il PLC a banda ultra stretta non sono generalmente adottati negli scenari di illuminazione intelligente a causa della loro bassa gamma di copertura e velocità di trasmissione dati, rispettivamente. Il PLC a banda stretta è, invece, comunemente adottato per questa applicazione. Come mostrato nella Figura, che illustra la tipica infrastruttura di illuminazione intelligente basata sui PLC, le comunicazioni avvengono sui cavi di alimentazione a bassa tensione tra gli apparecchi e l'armadio elettrico. A sua volta, il cabinet

è connesso al Centro di Controllo tramite cavo (es. fibra ottica) o wireless (es. rete cellulare).

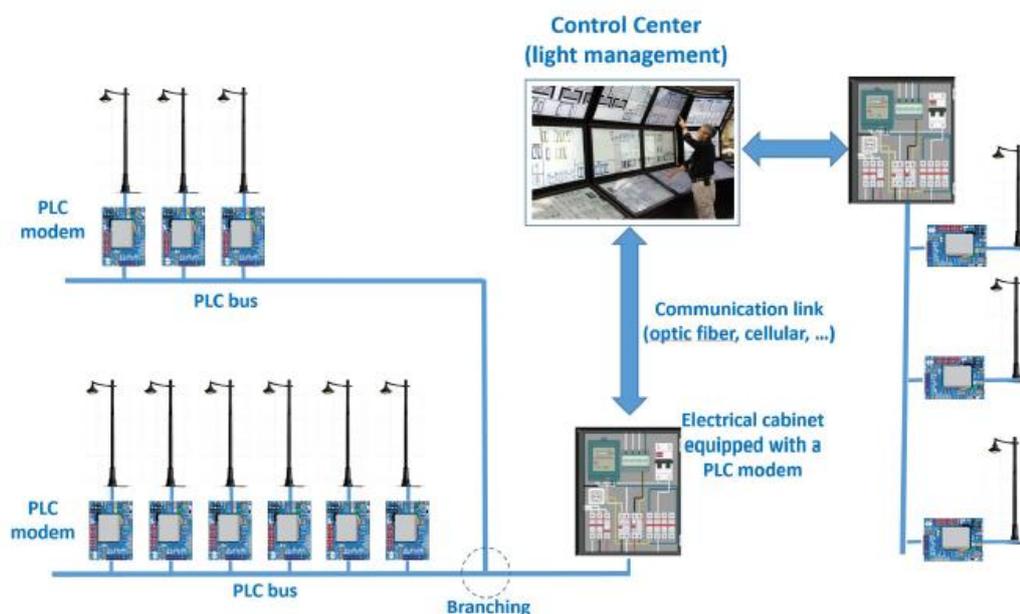


Figura 2

Questa architettura è ampiamente adottata nelle infrastrutture di illuminazione intelligente attualmente in funzione in tutto il mondo. Il PLC è, infatti, una tecnologia matura, con la conseguenza che molti produttori hanno da molti anni soluzioni pronte all'uso. In prospettiva, tuttavia, è discutibile se il PLC rimarrà la soluzione migliore per le infrastrutture di illuminazione intelligente delle future città intelligenti nell'era dell'IoT. Infatti, i futuri lampioni saranno sicuramente dotati di tecnologie di comunicazione wireless, mirate alla raccolta/scambio dati da/con dispositivi IoT (sensori, smart bike, auto, parcheggi, rifiuti) situati nei loro dintorni. Alla luce di ciò, non vi è alcun motivo per non utilizzare la stessa rete wireless per supportare sia i futuri servizi IoT che il servizio di illuminazione intelligente, senza bisogno di alcun PLC dedicato a quest'ultimo.

Infatti, la consapevolezza che i servizi wireless IoT e l'illuminazione intelligente saranno strettamente intrecciati nei futuri scenari di città intelligenti, sta costringendo diversi produttori di PLC ad aggiornare

i propri prodotti per far ospitare anche tecnologie wireless IoT; Il PLC viene utilizzato principalmente per la trasmissione di dati tra il quadro elettrico e gli apparecchi di illuminazione, mentre la rete RF supplementare, realizzata mediante dispositivi radio installati in ogni lampione, viene utilizzata per supportare le comunicazioni con i dispositivi IoT vicini nonché (se necessario) tra gli apparecchi.

#### 2.3.1.1. Reti wireless

#### 2.3.1.2. Reti cellulari

Le reti cellulari sono onnipresenti e diffuse e coprono circa il 95% degli abitanti del mondo e la quasi totalità delle aree popolate. Data la loro portata onnipresente, le reti cellulari sembrerebbero la soluzione ideale per collegare facilmente i corpi illuminanti al Control Center. In linea di principio, con la copertura di rete cellulare, collegando un lampione all'infrastruttura di illuminazione intelligente è semplice dotarlo di un'interfaccia radio cellulare e accenderlo. Si collegherà immediatamente con la rete cellulare già attiva. Dal punto di vista dei titolari di illuminazione pubblica, questo è sicuramente un buon punto, in quanto non è richiesta l'installazione di rete né la sua manutenzione. Inoltre, le reti cellulari forniscono velocità di trasmissione dati che possono scalare da pochi kbps a centinaia di Mbps, supportando così quasi tutti i servizi, dal semplice telemetro ad applicazioni che richiedono una maggiore richiesta di larghezza di banda, come la videosorveglianza. Concentrando l'attenzione sul servizio di base di illuminazione intelligente, che genera una piccola quantità di dati, si potrebbe fare affidamento sui due standard IoT basati sui cellulari ovvero l'IoT a banda stretta (NB-IoT) e l'evoluzione a lungo termine (LTE)-Cat-M1, che sono stati progettati per implementare le reti Low-PowerWide-Area (LPWAN). Entrambe le tecnologie sono implementate come overlay delle reti cellulari LTE 4G e forniscono dati a velocità fino a 250 kbps (NB-IoT) e 1 Mbps (LTE-Cat-M1), rispettivamente. Come tutte le tecnologie LPWAN, sono stati progettati per consentire

comunicazioni a lungo raggio (diversi km) a un basso bit rate tra elementi connessi, come sensori alimentati da batterie.

Le reti cellulari, insieme ai loro sviluppi LPWAN, sembrano sicuramente una soluzione conveniente per fornire all'infrastruttura di illuminazione intelligente la connettività richiesta. C'è, tuttavia, una serie di questioni da considerare con attenzione. Prima di tutto, la connettività è molto importante per l'illuminazione intelligente. Lampioni che non hanno un livello adeguato di potenza ricevuta dalle stazioni di rete cellulari sono fuori dal controllo di gestione delle infrastrutture. Questo problema è particolarmente critico perché, sebbene sia vero che le reti cellulari sono onnipresenti e diffuse, non è possibile raggiungere un target di copertura del 100%. Infatti in ambienti urbani densi, edifici o altri ostacoli possono ostacolare la propagazione del segnale. Risolvere tale problema potrebbe essere molto difficile, perché la rete cellulare è di proprietà di una terza parte (l'operatore di rete), che potrebbe non essere disposta (per costi o difficoltà tecniche) a modificare il layout della rete. In secondo luogo, poiché le reti cellulari sono gestite da fornitori di terze parti, i titolari di infrastrutture di illuminazione devono pagare un costo per il loro utilizzo, che potrebbe essere significativo perché migliaia di lampioni devono essere connessi. In questo modo si riduce il risparmio economico ottenuto grazie alla gestione intelligente della luce a causa di questo costo aggiuntivo. Inoltre, gli operatori di rete potrebbero decidere di aumentare nel tempo il costo per la sottoscrizione del servizio, secondo dinamiche non controllate dai titolari delle infrastrutture di illuminazione. In terzo luogo, l'utilizzo della rete cellulare per fornire connettività ai lampioni suggerisce che il titolare dell'infrastruttura non è disposto a implementare e gestire la propria rete di comunicazione privata. Sebbene questa scelta sia comprensibile, in quanto riduce lo sforzo da parte del titolare dell'illuminazione pubblica, questo impedisce la possibilità di utilizzare tale rete privata anche per servizi IoT aggiuntivi che potrebbero essere di interesse. Ad esempio, il titolare dell'infrastruttura di illuminazione potrebbe ottenere entrate fornendo ad altre utenze (raccolta rifiuti, noleggi smart bike) l'accesso alla propria rete privata. Infine, la durata prevista di

un'infrastruttura di illuminazione è di circa 15-20 anni, il che è un periodo molto lungo in termini di evoluzione tecnologica. In un periodo così lungo, la tecnologia cellulare scelta per l'infrastruttura di illuminazione intelligente al momento della sua implementazione potrebbe essere spenta dagli operatori di rete per liberare frequenze per le nuove tecnologie. Questo è ciò che sta accadendo attualmente con la tecnologia 3G ad esempio che, seppur ancora ottima per molte applicazioni IoT, verrà dismessa nei prossimi anni.

#### 2.3.1.3. LPWAN non cellulari

Le LPWAN non cellulari sono sempre più adottate per applicazioni di illuminazione intelligente, poiché consentono ridurre i costi operativi della rete dei lampioni rispetto alle reti cellulari. Long Range (LoRa) e Sigfox sono, in particolare, le tecnologie LPWAN maggiormente considerate in scenari luminosi smart, meritevoli quindi di discussioni specifiche.

LoRa Wide Area Network (LoRaWAN):

LoRaWAN è un protocollo di rete punto-multipunto per comunicazioni WAN che utilizza lo schema di modulazione proprietario LoRa di proprietà del produttore di chip Semtech. Più specificamente, LoRaWAN è uno standard aperto che definisce il livello di controllo dell'accesso medio (MAC) per LPWAN basato sul chip LoRa, che trasmette su bande prive di licenza (169 MHz, 433 MHz, 868 MHz e 915 MHz) con un lungo raggio di trasmissione (oltre 10 km nelle zone rurali) e basso consumo energetico.

È stato progettato per collegare dispositivi IoT alimentati a batteria, a basso bit rate, su un'ampia copertura. Riguardo gli aspetti di rete, le LoRaWAN sono generalmente disposte secondo una tipologia chiamata 'a stella' e il nodo centrale è solitamente chiamato gateway. Negli scenari urbani, più di un gateway potrebbe essere installato per aumentare la copertura, in modo da coprire l'intera area di servizio.

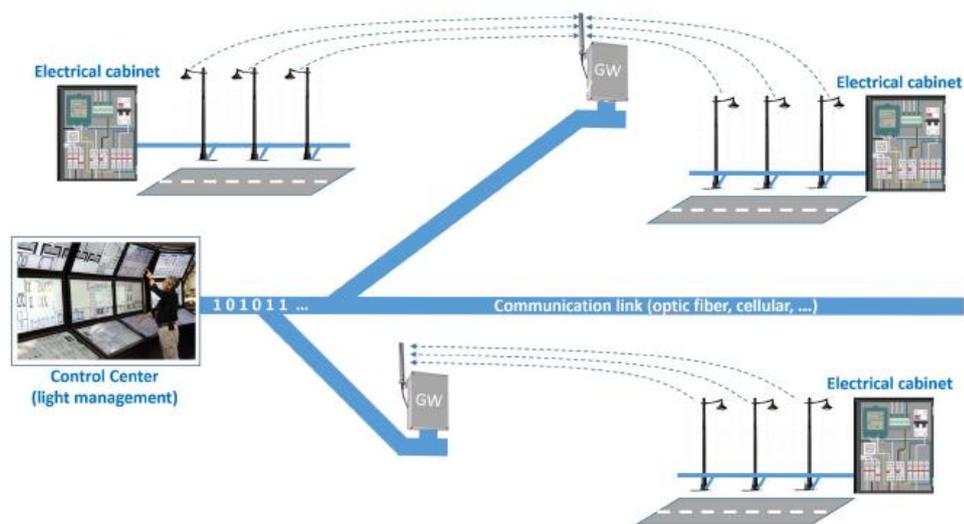


Figura 3

Viene mostrata la tipica infrastruttura di comunicazione adottata negli scenari di illuminazione intelligente. Ciascun gateway, fungendo da hub, viene poi connesso al Centro di Controllo tramite la rete cellulare diffusa o un'altra tecnologia di comunicazione basata su IP. Come si può osservare, la rete risultante è molto simile, da un punto di vista architettonico, a una rete cellulare. In effetti, i gateway LoRa sparsi per la città funzionano esattamente allo stesso modo delle BS cellulari. La differenza principale è che le reti LoRa sono private, quindi il titolare dell'infrastruttura di illuminazione intelligente è anche proprietario di questo bene fondamentale. In ogni caso, se si adotta la rete cellulare per collegare i gateway LoRa al Centro di controllo vi è da pagare una quota, ma poco significativa per il basso numero di gateway.

#### 2.3.1.4. Reti a maglia

I problemi di connettività che sorgono con le reti a stella possono essere superati adottando un'architettura di rete mesh. In questo caso, i nodi wireless possono connettersi direttamente, non gerarchicamente e anche dinamicamente, a tutti gli altri nodi peer necessari, a condizione che si trovino nel loro raggio di copertura, e collaborino tra loro per instradare i dati in modo efficiente. Questa mancanza di dipendenza da un nodo centrale consente a ogni nodo di partecipare all'inoltro di informazioni, che si propaga hop-by-hop. La tipica rete mesh in uno scenario di illuminazione intelligente è illustrata nella Figura 4. Si osserva che i lampioni sono raggruppati in gruppi, in cui sono consentite comunicazioni punto a punto. Queste comunicazioni di solito avvengono per mezzo di comunicazioni a corto raggio, con tecnologie a basso costo, come il Bluetooth. All'interno di ogni cluster, uno o più lampioni possono comunicare con un nodo di rete speciale dotato anche di una comunicazione a lungo raggio (cellulare, fibra ottica). Questo nodo avanzato funge da gateway, consentendo il bidirezionale scambio di informazioni/comandi tra il Centro di Controllo e tutti i poli del cluster. Questa architettura è molto meno soggetta a problemi di copertura, perché i lampioni sono vicini l'uno all'altro e nella maggior parte dei casi sperimentano condizioni di propagazione a vista. Inoltre, le comunicazioni tra i poli non richiedono alcun abbonamento (né canone) a una rete fornitore, perché il titolare dell'infrastruttura di illuminazione pubblica è anche titolare dell'interpolo.

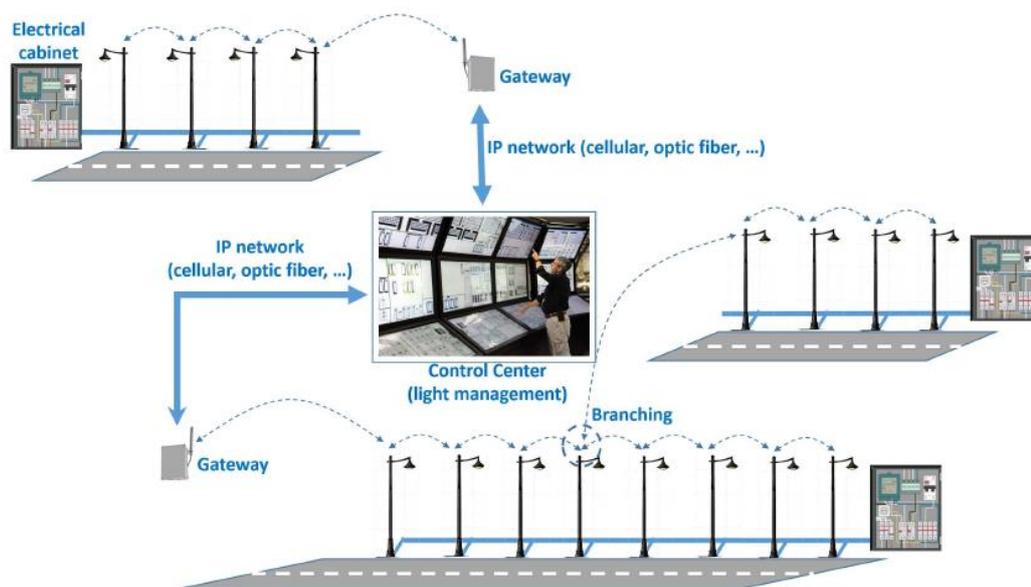


Figura 4

### 2.3.2. Tecnologie di comunicazione per infrastrutture di illuminazione intelligente: conclusioni

In conclusione, la prima scelta è tra soluzioni cablate o wireless. Secondo molti studi, le reti cablate, anche se attualmente adottate in molte infrastrutture di illuminazione stradale, non rappresentano una scelta ragionevole se considerata nella prospettiva moderna di smart city e scenari IoT. Questo tipo di reti, principalmente implementate utilizzando tecnologie PLC, rappresentano infrastrutture di comunicazione dedicate, finalizzate alla sola fornitura del servizio di illuminazione intelligente. Considerando la continua evoluzione degli ambienti urbani, che sarà sempre più costellato di oggetti intelligenti che richiedono connettività per lo scambio di dati, il deployment di una rete cittadina a supporto di un unico servizio è certamente uno spreco. Al contrario, le reti wireless sono i fattori chiave per le imminenti applicazioni per smart city e IoT. La loro flessibilità, copertura capillare e bassi costi di implementazione li rendono l'unica scelta possibile per interconnettere la moltitudine di dispositivi intelligenti che vengono implementati nelle nostre città.

Ogni lampione potrebbe essere, da un lato, uno dei tanti oggetti diffusi nell'area urbana, che necessitano di una connessione wireless per funzionare, o, dall'altro invece, potrebbe essere esso stesso parte di una rete wireless estesa a tutta la città che fornisce connettività ad altri oggetti, in grado di trasmettere informazioni, raccogliere dati e fornire servizi da e verso i dispositivi IoT, in modo da renderla una piattaforma dinamica che funge da spina dorsale per le smart city.

#### 2.4. Risparmio energetico

In termini di consumo energetico, semplicemente la sostituzione degli apparecchi tradizionali con quelli a LED comporta un notevole risparmio. Infatti un 130 W di una lampada non LED equivale, in termini di prestazione luminosa, a una lampada a LED da 70 W. Quindi, un risparmio del 46%. in termini di costo dell'elettricità si ottiene semplicemente sostituendo l'apparecchio di illuminazione, il che significa (considerando il costo complessivo di elettricità+manutenzione) un risparmio del 32% annuo per ogni apparecchio. Questa stima è prudenziale in quanto diversi articoli affermano che maggiori riduzioni dei costi energetici possono essere raggiunti.

##### 2.4.1. Monitoraggio remoto del corpo illuminante.

Ulteriori risparmi possono essere ottenuti introducendo un light controller in grado sia di monitorare in tempo reale il funzionamento della lampada (stato lampada e parametri elettrici) sia di trasmettere i dati raccolti insieme all'ID del polo al Centro di controllo, che può dedurre tempestivamente o prevedere le condizioni di guasto. Ciò consente sia di prevenire malfunzionamenti (ad es. quando un'alimentazione difettosa) sia di ottimizzare le operazioni di ripristino del guasto. Infatti, le lampade non funzionanti possono essere rilevate tempestivamente, insieme alle loro posizioni, in modo che le squadre di riparazione possano

essere inviate secondo una precisa pianificazione, tenendo anche conto del percorso migliore per riparare tutti i guasti nella stessa zona. L'ammontare del risparmio fornito da pratiche di manutenzione migliorate è difficile da stimare in quanto dipende da come viene gestita la manutenzione a livello locale. Si prevede, tuttavia, che sia nell'ordine di pochi punti percentuali all'anno per lampione.

## 2.5.Regolazione del flusso luminoso della luce.

Rendere il light controller anche in grado di attenuare le luci a LED porta a certi vantaggi. Da un lato, questa caratteristica consente all'apparecchio di seguire le variazioni della luce diurna, ciò significa che l'intensità della luce può essere “regolata” con una fine granularità temporale per compensare le variazioni della luce naturale al tramonto e all'alba, evitando così lo spreco di energia causato da un semplice accensione/spegnimento. Inoltre, il profilo di regolazione può essere facilmente adattato negli anni anche per compensare l'inevitabile degrado del flusso luminoso dovuto all'invecchiamento dell'apparecchio. Il vantaggio economico della regolazione della luce dipende da molti fattori, come la potenza dell'apparecchio, il profilo di regolazione del flusso luminoso adottato e la durata della luce diurna. Tuttavia, diversi studi hanno dimostrato che una riduzione del 40% 45% del consumo energetico è un obiettivo realistico.

### 3. Normative di Riferimento

#### 3.1. Norma UNI 11248

La norma fornisce le linee guida per determinare le condizioni di illuminazione da adottare in una data zona della strada identificata per le sue peculiarità nelle condizioni del traffico e nelle necessità di illuminazione. La norma UNI EN 11248 – 2016 identifica e prescrive una metodologia da adottare nelle fasi di programmazione e progettazione. Tale norma, a partire da dati specifici del tipo di strada (valori di input per la procedura) consente di attribuire a ciascuna strada la categoria illuminotecnica adeguata. Tale metodologia è basata su un procedimento sottrattivo che, a seguito di un'analisi dei rischi (fase in cui il progettista valuta i parametri di influenza) permette di individuare sia la categoria illuminotecnica di progetto sia quello di esercizio.

La norma UNI EN 11248:

- Indica come classificare una zona esterna destinata al traffico (zona di studio), ai fini di determinazione della categoria illuminotecnica di ingresso;
- Fornisce la procedura per la selezione delle categorie illuminotecniche di progetto e di esercizio che competono alla zona di studio classificata;
- Identifica gli aspetti che condizionano l'illuminazione stradale e, attraverso la valutazione dei rischi, permette l'ottimizzazione dei consumi energetici con conseguente possibile riduzione dell'impatto ambientale e dell'inquinamento luminoso;
- Introduce una corrispondenza tra varie serie di categorie illuminotecniche comparabili o alternative;
- Fornisce, per l'illuminazione delle intersezioni stradali, prescrizioni sulla determinazione delle zone di studio e introduce griglie di calcolo integrative rispetto a quelle considerate nella UNI EN 13201- 3:2016.

- Fornisce elementi per l'applicazione delle metodologie di misurazione descritte nella UNI EN 13201-4;
- Fornisce elementi per la selezione delle caratteristiche fotometriche della pavimentazione stradale di riferimento per i calcoli.
- Indica la suddivisione dei parametri di influenza in quelli costanti nel tempo (usati per la determinazione della categoria illuminotecnica di progetto) e quelli variabili nel tempo (usati per definire le categorie illuminotecniche di esercizio);
- Mostra la riduzione consentita di categoria illuminotecnica: eccetto casi particolari, il decremento massimo consentito della categoria illuminotecnica di progetto a partire dalla categoria illuminotecnica di ingresso è pari a due categorie. È possibile ridurre fino a tre categorie illuminotecniche quella di progetto esclusivamente per gli impianti adattivi del tipo FAI (Full Adaptive Installation), ossia per quegli impianti che controllano il flusso luminoso mediante il campionamento continuo del flusso di traffico, della luminanza (categorie illuminotecniche M) o dell'illuminamento (categorie illuminotecniche C e P) e delle condizioni meteorologiche

### 3.1.1. Parametri di influenza

I parametri di influenza costanti nel lungo periodo determinano la categoria illuminotecnica di progetto. I più significativi parametri di questo gruppo sono elencati nel prospetto seguente.

**Indicazione sulle variazioni della categoria illuminotecnica di ingresso in relazione ai più comuni parametri di influenza costanti nel lungo periodo**

Parametro di influenza	Riduzione massima della categoria illuminotecnica
Complessità del campo visivo normale	1
Assenza o bassa densità di zone di conflitto <sup>1) 2)</sup>	1
Segnaletica cospicua <sup>3)</sup> nelle zone conflittuali	1
Segnaletica stradale attiva	1
Assenza di pericolo di aggressione	1
1) In modo non esaustivo sono zone di conflitto gli svincoli, le intersezioni a raso, gli attraversamenti pedonali, i flussi di traffico di tipologie diverse. 2) È compito del progettista definire il limite di bassa densità. 3) Riferimenti in CIE 137 <sup>[9]</sup> .	

I parametri di influenza variabili nel tempo in modo periodico o casuale determinano le categorie illuminotecniche di esercizio, derivate da quella di progetto. I più significativi parametri di questo gruppo sono elencati nel prospetto 3. La valutazione dei parametri di influenza costanti nel lungo periodo può avvenire su indicazioni del committente, mediante analisi statistiche, a seguito di misurazioni ad hoc e di sopralluogo, attraverso indicazioni ricavabili da situazioni analoghe o assimilabili.

Si ricorda che la riduzione tiene conto dell'influenza della visione periferica e della percezione dei colori nella visione notturna ai fini della sicurezza del traffico.

Nel caso di traffico motorizzato (categorie illuminotecniche M) tra i parametri di influenza costanti nel lungo periodo può essere considerato il fattore di visibilità di oggetti.

La valutazione dei parametri di influenza variabili nel tempo in modo periodico o casuale può avvenire su indicazioni del committente, attraverso metodi statistici noti, con misurazioni ad hoc prolungate nel tempo o con misurazioni continue in tempo reale, come negli impianti adattivi.

Altri parametri possono essere individuati dal progettista in base alle condizioni della zona di studio.

**Indicazione sulle variazioni della categoria illuminotecnica di progetto in relazione ai più comuni parametri di influenza variabili nel tempo in modo periodico o casuale**

Parametro di influenza	Riduzione massima della categoria illuminotecnica
Flusso orario di traffico <50% rispetto alla portata di servizio	1
Flusso orario di traffico <25% rispetto alla portata di servizio	2
Riduzione della complessità nella tipologia di traffico	1

Il valore della riduzione associato a ogni parametro di influenza eventualmente aggiunto dal progettista, è compreso tra 0 e 1. Il valore della riduzione associato a ogni parametro di influenza deve essere proposto e giustificato dal progettista nell'analisi dei rischi.

La somma del valore della riduzione di tutti i parametri di influenza generalmente costanti nel lungo periodo, ridotta al più grande intero minore o uguale alla somma stessa, rappresenta la riduzione per ottenere la categoria illuminotecnica di progetto nota la categoria illuminotecnica di ingresso, portando dunque ad una riduzione dei requisiti da rispettare e dunque ad un possibile risparmio energetico. Si riporta come esempio, la tabella riassuntiva delle categorie illuminotecniche di classe M, relative ai tratti di strada destinati agli utenti motorizzati. Si nota che se ad esempio si riuscisse a ridurre la categoria illuminotecnica di ingresso di una sola classe, si ottiene una riduzione della luminanza richiesta che varia dal 33% al 25% che comporta un risparmio energetico proporzionale.

Categoria	Luminanza del manto stradale della carreggiata in condizioni di manto stradale asciutto e bagnato			Abbagliamento debilitante		Illuminazione di contiguità
	Asciutto			Bagnato	Asciutto	Asciutto
	$\bar{L}$ [minima mantenuta] cd × m <sup>2</sup>	$U_0$ [minima]	$U_1^{a)}$ [minima]	$U_{0W}^{b)}$ [minima]	$f_{T1}^{c)}$ [massima] %	$R_{E1}^{d)}$ [minima]
M1	2,00	0,40	0,70	0,15	10	0,35
M2	1,50	0,40	0,70	0,15	10	0,35
M3	1,00	0,40	0,60	0,15	15	0,30
M4	0,75	0,40	0,60	0,15	15	0,30
M5	0,50	0,35	0,40	0,15	15	0,30
M6	0,30	0,35	0,40	0,15	20	0,30

a) L'uniformità longitudinale ( $U_1$ ) fornisce una misura della regolarità dello schema ripetuto di zone luminose e zone buie sul manto stradale e, in quanto tale, è pertinente soltanto alle condizioni visive su tratti di strada lunghi e ininterrotti, e pertanto dovrebbe essere applicata soltanto in tali circostanze. I valori indicati nella colonna sono quelli minimi raccomandati per la specifica categoria illuminotecnica, tuttavia possono essere modificati allorché si determinano, mediante analisi, circostanze specifiche relative alla configurazione o all'uso della strada oppure quando sono pertinenti specifici requisiti nazionali.

b) Questo è l'unico criterio in condizioni di strada bagnata. Esso può essere applicato in aggiunta ai criteri in condizioni di manto stradale asciutto in conformità agli specifici requisiti nazionali. I valori indicati nella colonna possono essere modificati laddove siano pertinenti specifici requisiti nazionali.

c) I valori indicati nella colonna  $f_{T1}$  sono quelli massimi raccomandati per la specifica categoria illuminotecnica, tuttavia, possono essere modificati laddove siano pertinenti specifici requisiti nazionali.

d) Questo criterio può essere applicato solo quando non vi sono aree di traffico con requisiti illuminotecnici propri adiacenti alla carreggiata. I valori indicati sono in via provvisoria e possono essere modificati quando sono specificati gli specifici requisiti nazionali o i requisiti dei singoli schemi. Tali valori possono essere maggiori o minori di quelli indicati, tuttavia si dovrebbe aver cura di garantire che venga fornito un illuminamento adeguato delle zone.

### 3.1.2. Illuminazione adattiva (TAI-FAI)

Nel corso degli anni, i sistemi di controllo di base si sono evoluti in sistemi estremamente avanzati, fornendo capacità avanzate per adattare l'intensità della luce all'ambiente operativo. In contrasto ai più semplici e antiquati light controller, che permettono di regolare l'intensità luminosa solo secondo un programma predefinito, i sistemi di controllo all'avanguardia consentono di adattare l'emissione del flusso luminoso al traffico veicolare, la cui entità è monitorata da specifici sensori, in alcuni casi anche alle condizioni meteorologiche insieme alla luminanza della superficie stradale misurata. Specifiche così avanzate sono sviluppate secondo normative che consentono di ridurre dinamicamente l'intensità luminosa quando sono soddisfatte certe condizioni specifiche.

La norma UNI 11248, come specificato in precedenza, standardizza anche le strategie di illuminazione adattiva, consentendo così la

progettazione di sistemi che regolano condizioni di illuminazione in base a fattori che possono variare nel tempo, come flusso di traffico, luminanza o condizioni meteo. In particolare, si possono adottare due diverse modalità operative:

- TAI (Traffic Adaption Installation), dove viene misurato solo il volume di traffico
- FAI (Full Adaption Installation), dove vengono misurate anche le condizioni meteorologiche e la luminanza del manto stradale.

Con il TAI, la classe di illuminazione di un tratto stradale può essere declassata se il traffico misurato è inferiore al 50% del valore nominale, mentre è possibile un downgrade di 2 classi di illuminazione quando il traffico è inferiore al 75% del valore nominale. All'interno dei sistemi TAI, il volume di traffico è misurato in determinati intervalli di tempo e la regolazione è consentita quando due consecutivi campioni misurati sono al di sotto del limite nominale.

A differenza di TAI, che adotta una regolazione del flusso luminoso a step discreto, FAI aggiorna la classe illuminotecnica progressivamente e continuamente tra una classe e l'altra, per ottenere il massimo risparmio energetico. In questo caso, il livello di regolazione del flusso luminoso si basa sulla valutazione congiunta delle condizioni del traffico, della luminanza del manto stradale e delle condizioni meteorologiche.

Chiaramente, approcci distinti (preset della regolazione del flusso, TAI o FAI) portano a risparmi distinti, richiedono diverse tecnologie e sistemi di varia complessità. Se si vuole ottenere il massimo risparmio è necessaria una rete di comunicazione a bassa latenza. Infatti quando sistemi TAI o (a maggior ragione) FAI, vengono adottati, i lampioni appartenenti allo stesso segmento TAI/FAI si scambiano continuamente informazioni, e dovrebbero reagire a condizioni diverse (adottando un diverso livello di regolazione del flusso luminoso) simultaneamente, per evitare di confondere i conducenti con porzioni di strada illuminate in modo diverso. Un'ulteriore caratteristica, legata sia alla sicurezza che al risparmio

energetico, è la cosiddetta Costant Light Output (CLO). A questo proposito, va osservato che il flusso luminoso degli apparecchi a LED si riduce nel tempo con l'invecchiamento del diodo e l'accumulo di sporcizia, proprio come la maggior parte delle altre sorgenti luminose. Tipicamente, in assenza di qualsiasi capacità di regolazione del flusso luminoso, i lampioni sono sovradimensionati sin dal primo giorno, in modo tale da superare significativamente l'intensità luminosa richiesta, in modo da prevenire la riduzione nel tempo dell'efficienza dell'apparecchio, così da non violare la normativa sul livello minimo di illuminazione richiesto.

### 3.2. Criteri Ambientali Minimi

Nell'ambito del piano d'azione Produzione e consumo sostenibili (SCP), la Commissione Europea si è impegnata a rafforzare il proprio impegno nell'adottare modelli di consumo e di produzione più sostenibili.

Il Green Public Procurement (GPP) = Acquisti Verdi della Pubblica Amministrazione svolge un ruolo strategico nell'attuazione delle strategie dell'Unione Europea con particolare riguardo all'uso efficiente delle risorse.

Il GPP consiste nell'inserimento, obbligatorio per legge, di criteri di qualificazione ambientale nelle domande che le P.A. esprimono in sede di acquisto di beni e servizi, al fine di promuovere la diffusione di prodotti e tecnologie che abbiano il minor impatto possibile sull'ambiente, razionalizzando la spesa pubblica (metodologia di acquisto in cui il prezzo di un bene è solo uno degli aspetti da considerare).

A livello nazionale, al fine di creare un piano organico in materia di GPP e accogliendo l'indicazione della Commissione Europea (COM(2003)302), l'Italia ha adottato con Decreto Interministeriale 135/2008 dell'11 aprile 2008 il Piano d'Azione Nazionale per la

sostenibilità dei consumi nel settore della Pubblica Amministrazione (PANGPP) (aggiornato dal Dm 10 aprile 2013). Il PAN GPP fornisce un quadro generale sul Green Public Procurement, definisce degli obiettivi nazionali, identifica le categorie di beni, servizi e lavori di intervento prioritari per gli impatti ambientali e i volumi di spesa, su cui definire i Criteri Ambientali Minimi (CAM). In Italia l'applicazione dei CAM è obbligatoria da parte di tutte le stazioni appaltanti (art.18 della L.221/2015 e, successivamente, art.34 recante "Criteri di sostenibilità energetica e ambientale" del D.Lgs.50/2016 "Codice degli appalti", modificato dal D.Lgs56/2017). Ad oggi sono stati adottati CAM per 17 categorie di forniture ed affidamenti.

I Criteri Ambientali Minimi (CAM) rappresentano, per diverse categorie di prodotti o servizi, i requisiti ambientali definiti per le varie fasi del processo di acquisto, volti a individuare la soluzione progettuale, il prodotto o il servizio migliore sotto il profilo ambientale lungo il ciclo di vita, tenuto conto della disponibilità di mercato.

I CAM supportano la realizzazione di gare con il criterio dell'offerta economicamente vantaggiosa, definendo:

- Criteri Ambientali Minimi (criteri base): specifiche tecniche minime e clausole contrattuali necessarie per garantire la classificazione delle procedure di acquisto come "verde";
- Criteri Premianti (criteri di aggiudicazione): caratteristiche migliorative per il rispetto dell'ambiente, ai quali possono corrispondere punteggi premianti per l'aggiudicazione della gara.

I criteri ambientali definiti nei decreti ministeriali rappresentano il livello minimo delle prestazioni ambientali da raggiungere. Le Amministrazioni che hanno obiettivi più ambiziosi di rispetto e protezione dell'ambiente possono decidere di utilizzare, per tutti o per alcuni criteri, livelli più restrittivi, fermo restando il rispetto delle altre specifiche tecniche per i rimanenti criteri.

Attualmente, i Criteri Ambientali Minimi di riferimento per la pubblica illuminazione, fanno riferimento a due Decreti Ministeriali:

- Criteri ambientali minimi per l'acquisizione di sorgenti luminose per l'illuminazione pubblica, per l'acquisizione di apparecchi per l'illuminazione pubblica, per l'affidamento dei servizi di progettazione di impianti per l'illuminazione pubblica (CAM-IP)-DM27/9/2017

Definisce i CAM che, ai sensi del D.lgs50/2016, le Amministrazioni pubbliche devono utilizzare nell'ambito delle procedure d'acquisto di sorgenti e apparecchi d'illuminazione per illuminazione pubblica e nel caso di affidamento del servizio di progettazione di impianti per illuminazione pubblica.

- Criteri ambientali minimi per il servizio di illuminazione pubblica (CAM-Servizi)-DM28/03/2018

Definisce i CAM che, ai sensi del D.lgs50/2016, le Amministrazioni pubbliche devono utilizzare nell'ambito delle procedure per l'affidamento del servizio di illuminazione pubblica

I CAM-IP sono articolati in tre sezioni separate, ciascuna relativa ad una tipologia di prodotti/servizi:

- Scheda 4.1: sorgenti luminose
- Scheda 4.2: apparecchi di illuminazione

Devono essere utilizzate dalle Amministrazioni per l'acquisizione di sorgenti luminose e alimentatori, o apparecchi di illuminazione da installare in impianti di illuminazione pubblica.

- Scheda 4.3: progettazione di impianti

Deve essere utilizzata dalle Amministrazioni nella progettazione o nell'affidamento del servizio di progettazione di impianti di illuminazione pubblica. Tale progettazione deve tener conto dei criteri stabiliti nelle schede 4.1 e 4.2.

Le specifiche tecniche definite in ciascuna scheda debbono essere utilizzate sia nelle attività di manutenzione e/o riqualificazione di un impianto esistente, sia in quelle di realizzazione di un nuovo impianto.

Ciascuna Scheda si articola in 4 sezioni:

- Requisiti dei candidati: atti a provare la capacità tecnica del candidato ad eseguire il contratto (di fornitura/servizio) in modo da ridurre gli impatti ambientali
- Specifiche tecniche: definiscono il livello minimo da raggiungere in relazione ai più significativi impatti ambientali dei prodotti/servizio. Questo non esclude che le Amministrazioni pubbliche possano porsi obiettivi più ambiziosi
- Clausole contrattuali: criteri di sostenibilità che l'appaltatore si impegna a rispettare durante lo svolgimento del contratto
- Criteri premianti: criteri di valutazione dell'offerta a cui devono essere attribuiti specifici punteggi. I criteri premianti sono atti a selezionare prodotti/servizi più sostenibili di quelli che si possono ottenere con il rispetto dei soli criteri di base

Viene dunque riportata la sezione dei CAM IP relativa al sistema di gestione dell'impianto di illuminazione:

#### 4.3.3.4 SISTEMA DI TELECONTROLLO DELL'IMPIANTO

*I sistemi di telecontrollo possono determinare significativi vantaggi economici nella gestione degli impianti, consentendo il monitoraggio continuo, l'analisi dei guasti a distanza, la prevenzione delle condizioni di degrado, la programmazione degli interventi.*

*I sistemi di telecontrollo del tipo "ad isola", cioè quelli che permettono il monitoraggio, controllo e comando a livello del quadro di alimentazione, devono essere in grado di garantire al minimo le seguenti funzioni:*

- lettura dell'energia consumata in un periodo
- invio degli allarmi relativi al superamento di soglie predefinite nelle misure elettriche (prelievi di potenza, superamento di energia reattiva assorbita dalla rete, correnti di impianto, tensioni di esercizio)
- monitoraggio della corrente di guasto a terra (se significativa)

*- programmazione a distanza dei parametri di accensione dell'impianto (se dotato di orologio astronomico) e di regolazione del flusso luminoso (valori massimi e minimi, cicli orari).*

*I sistemi di telecontrollo del tipo "punto a punto", cioè quelli che permettono il monitoraggio, controllo e comando del singolo punto luce, devono essere in grado di garantire al minimo le seguenti funzioni:*

*- lettura delle misure elettriche relative ad ogni singolo punto luce*

*- invio di allarmi relativamente ai guasti più frequenti (lampada difettosa, condensatore esaurito se applicabile, sovracorrente, sovrasotto tensione)*

*- programmazione a distanza dei parametri di regolazione del flusso luminoso (valori massimi e minimi, cicli).*

*Verifica: l'offerente deve dimostrare il soddisfacimento del criterio mediante relazione del progettista che descriva le prestazioni di un sistema di telecontrollo per impianti di illuminazione pubblica e individui e quantifichi i relativi effetti sulla gestione.*

#### 4. Sistemi di telecontrollo presenti sul mercato

La regolazione continua FAI è appunto il punto cardine di una serie di progetti già avviati, che propongono un sistema innovativo di regolazione dell'illuminazione stradale, che integra sensori ambientali a basso costo realizzando una rete diffusa e distribuita. Il nuovo sistema incorpora, inoltre, diverse tecnologie orientate alla smart city come ad esempio il monitoraggio della qualità dell'aria, al fine di contribuire ad un miglioramento della stessa lungo le vie del sito pilota, o il monitoraggio del rumore ambientale, del traffico e dell'inquinamento atmosferico estendendo quindi l'acquisizione dei dati, promuovendo azioni urbane mirate e trasferibili sul clima e migliorando la sicurezza stradale attraverso l'individuazione di condizioni ambientali basate su dati meteorologici e sul traffico.

In tal modo, faciliterà ulteriormente l'attuazione dei più rigorosi *standard* in materia di sicurezza stradale, politiche di mitigazione del clima, politiche di adattamento e iniziative urbane orientate a un utilizzo più responsabile delle risorse energetiche.

Ogni singolo dato proveniente dai sensori in campo viene acquisito da un unico software; quest'ultimo è in grado di lavorare, gestire e visualizzare tutte le informazioni in modo esplicativo e di semplice comprensione.

Le centraline sono l'elemento essenziale del sistema adattivo. Grazie alla capacità all'interno di ogni armadio di controllo, vengono raccolti i dati dai sensori sul campo. A questo punto, con tutte le preziose informazioni acquisite, l'unità è in grado di decidere il livello di illuminazione necessario per quella specifica strada. Altro compito principale affidato all'unità di controllo è la capacità di connettersi da remoto. Questa funzionalità abilita il download dei dati sui server principali e permette la configurazione degli impianti di illuminazione ovunque sia presente l'accesso ad internet. Inoltre sono stati installati i dispositivi LTM che sono componenti essenziali per l'illuminazione adattiva e il monitoraggio del traffico. L'algoritmo di visione artificiale all'interno di ciascun dispositivo LTM fornisce i valori di riferimento per la luminanza in tempo reale, l'acquisizione del volume del traffico e le condizioni meteorologiche sulle strade.



Figura 5

Gli obiettivi specifici sono i seguenti:

- applicando l'illuminazione adattiva, ridurre il consumo energetico dell'illuminazione stradale e le emissioni di CO2 di almeno il 30% rispetto alle soluzioni che prevedono cicli pre-programmati;
- riduzione dell'inquinamento luminoso del 30%;
- attraverso l'analisi comparativa dei dati (rispetto a sistemi più precisi e costosi), validare l'uso di sensoristica diffusa a basso costo seguendo la logica del "Big Data";
- ottenere dei benefici legati alla sicurezza che ne consegue dall'applicazione dell'illuminazione adattiva e, quindi, dal riconoscimento di condizioni meteo avverse;
- ridurre i costi di manutenzione dell'illuminazione stradale del 10%, considerando un ciclo di vita previsto di 20 anni per il nuovo sistema di regolazione;
- generare delle politiche di traffico sulla base dei dati di inquinamento atmosferico e della "mappa del rumore";

- contribuire alla transizione verso un'economia a basse emissioni di carbonio e resiliente al clima, per la protezione e il miglioramento della qualità dell'ambiente.

I quartieri 'EUR' e 'Pietralata' di Roma sono stato dei campi prova di questo sistema adattivo. Quest'ultimo ha operato su strade di diversa categoria illuminotecnica e con diversi livelli di traffico veicolare.

La Figura seguente spiega visivamente l'energia consumata dallo stesso impianto di illuminazione con diverse strategie energetiche.

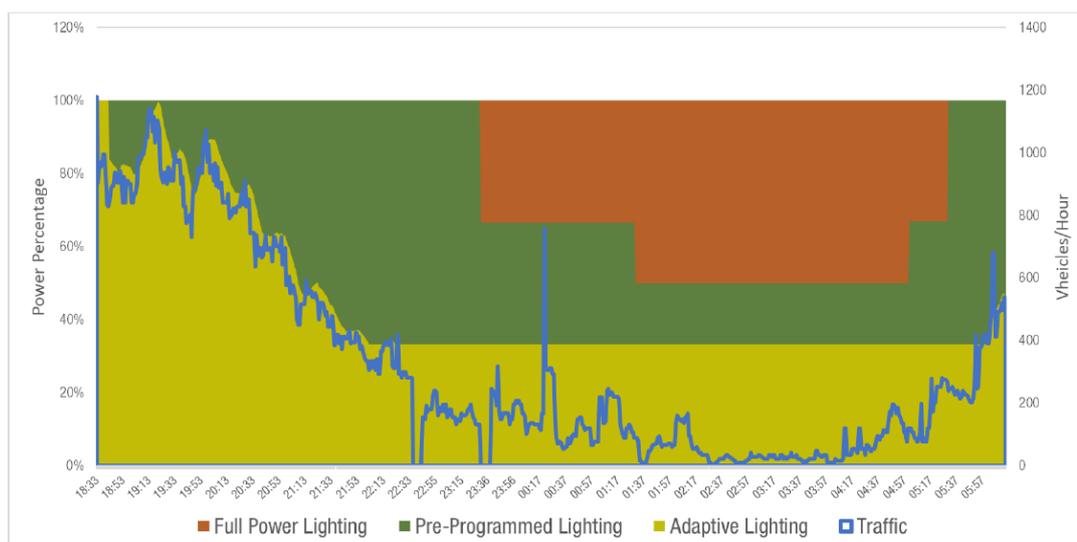


Figura 6

L'informazione sul volume di traffico determina direttamente il riferimento di luminanza e, di conseguenza, la potenza dell'impianto di illuminazione.

In marrone, il metodo full-light: il sistema è sempre alla massima potenza durante tutta la notte. In verde scuro, la strategia pre-programmata. Una direttiva tecnica valuta statisticamente il volume di traffico. Da questa stima, il gestore del servizio di illuminazione pubblica può gestire una riduzione della luce in orari prestabiliti. In

verde chiaro, il metodo di illuminazione adattiva. La luce sulla strada è guidata direttamente dall'effettivo volume di traffico.

La Figura seguente può rapidamente dimostrare come una tale strategia possa essere molto conveniente rispetto all'approccio completamente leggero e pre-programmato. Si è considerato, per la valutazione, un totale di 365 giorni.

Il grande sito di test ha ottenuto risultati migliori rispetto all'obiettivo del progetto di risparmio energetico del 30%.

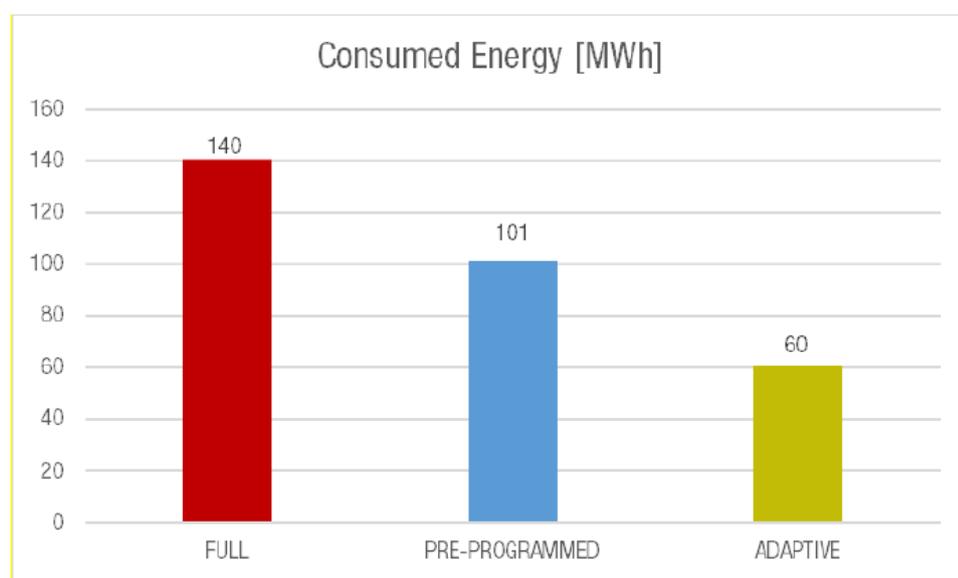


Figura 7

Il sistema adattivo, rispetto alla strategia pre-regolata, ha fornito un risparmio energetico del 40,6% nel periodo di prova di un anno. Rispetto alla strategia full-light, i risultati nello stesso periodo hanno fornito un risparmio energetico del 57,0%.

I risultati hanno confermato che un impianto di illuminazione adattativo potrebbe fornire un notevole risparmio energetico, notevoli riduzioni di emissioni di gas serra e un costo di funzione inferiore per l'illuminazione stradale.

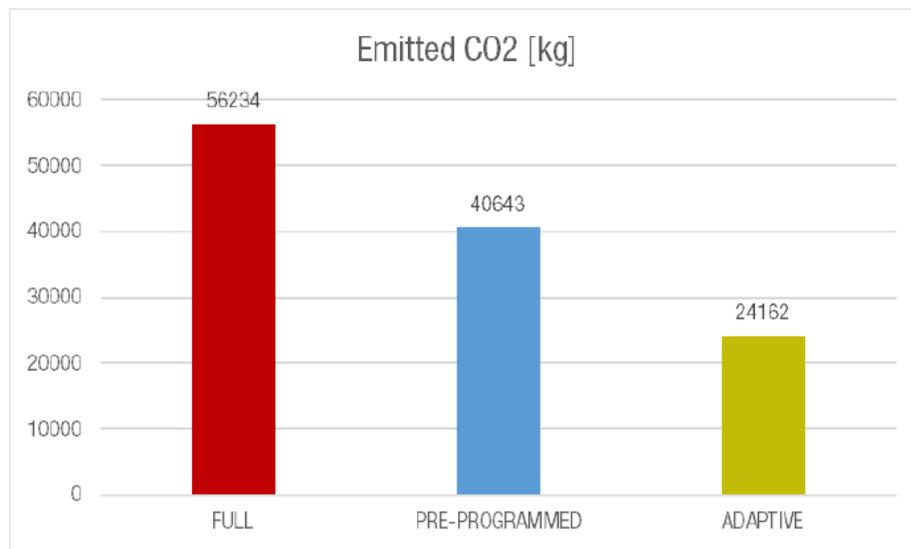


Figura 8

Il sistema effettua una rilevazione del livello di traffico 24/24h sotto ogni singolo punto luce. Questa capacità di acquisizione a tempo pieno è fornita grazie a una batteria installata all'interno di ogni dispositivo. La batteria consente il monitoraggio e la comunicazione continui e viene ricaricata durante la notte quando le lampade sono accese. Al mattino presto, quando l'impianto di illuminazione viene spento, il sistema smart city entra in funzione grazie all'energia accumulata. Di notte, una volta che l'impianto di illuminazione è in funzione, la telecamera LTM fornisce al sistema il conteggio del traffico tramite algoritmi di computer vision. La visione artificiale migliora la precisione dei dati sul volume di traffico raccolti. Un dispositivo sofisticato come LTM può eseguire processi per identificare traffico, meteo e luminanza in condizioni di tempo reale.

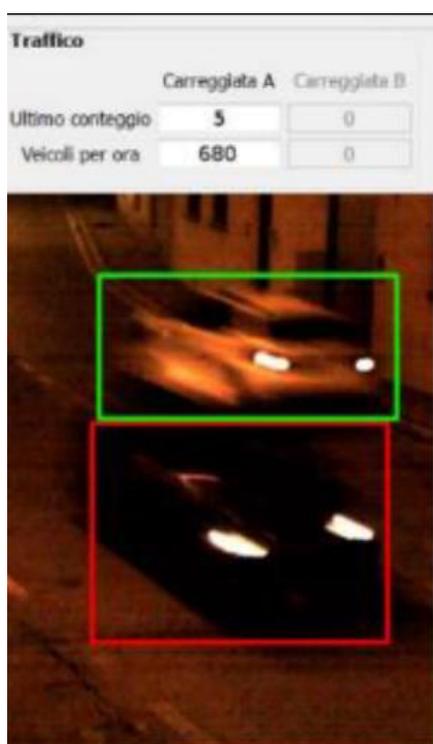


Figura 9

Test simili sono stati effettuati presso la città di Piacenza. Per mitigare una minaccia personale legata alla riduzione dell'illuminazione stradale, il responsabile tecnico di Piacenza ha richiesto però un vincolo fondamentale: il livello di illuminazione non può essere ridotto al minimo consentito dalla UNI 11248 per il sistema Full Adaptive Lighting di  $0.3 \text{ cd/m}^2$ , ma solo fino a un livello minimo di  $0.7 \text{ cd/m}^2$

I vincoli del comune, di fatto, hanno avuto un impatto essenziale sui risparmi energetici che il sistema può raggiungere se completamente sviluppato. Da questo punto di vista, il risparmio energetico ottenuto dal sito di prova di Piacenza deve essere considerato elevabile a un livello superiore se viene eseguita un'illuminazione adattiva conforme alla norma UNI 11248.

La figura seguente illustra lo scenario reale applicato insieme al sito di test di Piacenza. Quando il traffico è notevolmente ridotto, il sistema automatico riduce il livello di luminanza stradale ad un valore costante prossimo a  $0.7 \text{ cd/m}^2$  anziché  $0.3 \text{ cd/m}^2$ . L'aumento della luminanza limite inferiore è la diretta conseguenza dei vincoli del comune di Piacenza.

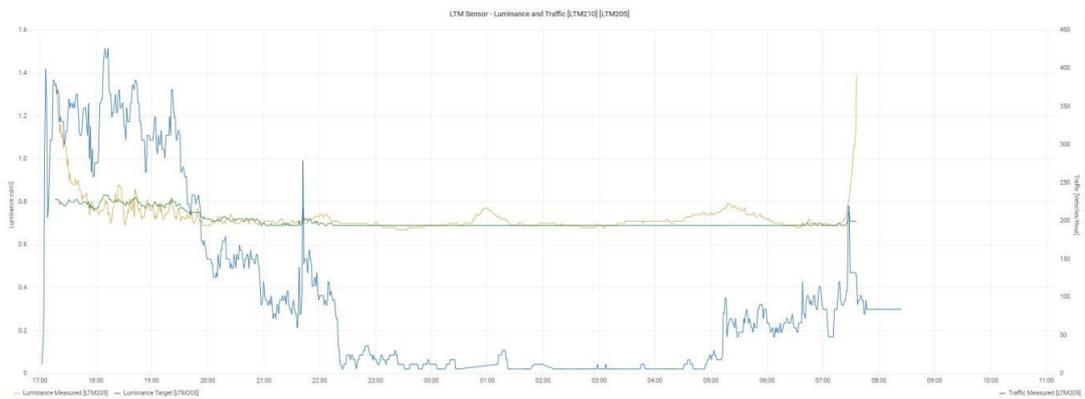


Figura 10

Nella figura seguente invece, il rettangolo blu, spiega quanta energia si può risparmiare se il metodo Full Adaptive può funzionare correttamente senza limiti di luminanza.

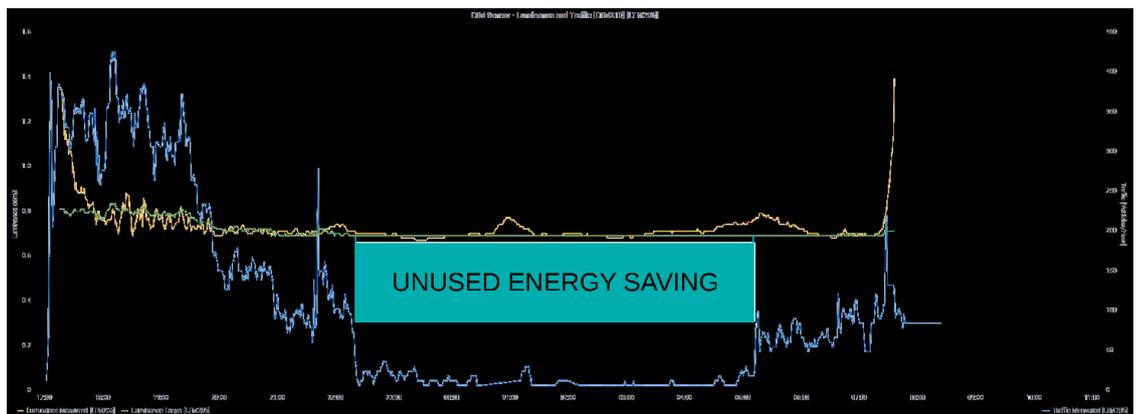


Figura 11

La linea verde rappresenta il livello di luminanza guidato dal sistema adattivo seguendo le restrizioni del comune.

Il sistema, leggendo le effettive condizioni del traffico, può impostare un livello di luminanza inferiore. La linea gialla, riferita alla UNI 11248, indica il livello di luminanza che l'impianto può adeguatamente raggiungere. In blu, il livello di traffico in tempo reale. Si può osservare che il sistema non consente un livello di luce inferiore a  $0,7 \text{ cd/m}^2$ . È possibile una regolazione più efficiente e il rettangolo al centro dell'immagine lo dimostra. I vincoli sul livello minimo di illuminazione hanno inciso profondamente sul massimo risparmio energetico che un sistema come può fornire a una città.

Il sito di Piacenza ha ottenuto risultati migliori rispetto all'obiettivo del progetto di risparmio energetico del 30%. Il sistema adattivo, anche con un limite di capacità di regolazione del flusso luminoso inferiore, rispetto alla strategia preregolata, ha fornito un risparmio energetico del 34,3% durante il periodo di prova. Rispetto alla strategia full light, i risultati nello stesso periodo hanno fornito un risparmio energetico del 49,6%. I risultati hanno confermato che un impianto di illuminazione a sistema adattivo potrebbe fornire un notevole risparmio energetico, notevoli emissioni di gas serra e un costo di produzione inferiore per la funzionalità di illuminazione stradale.

	<b>Consumed Energy [MWh]</b>	<b>Emitted CO2 [kg]</b>
<b>FULL LIGHT</b>	7,258	2823
<b>PRE-PROGRAMMED</b>	5,516	2145
<b>ADAPTIVE</b>	3,624	1409

Tutti i Sistemi di Qualità dell'Aria montano sensori a basso costo per acquisire concentrazione di CO, NO, NO2, O3, pressione atmosferica, umidità relativa e temperatura. Rispetto ai valori di riferimento dell'ARPA Emilia Romagna, i dati a basso costo hanno dato ottimi risultati di errore relativo. L'obiettivo del progetto era quello di fornire al comune uno strumento a basso costo per

monitorare e informare il decisore sui livelli di qualità dell'aria nelle diverse zone della città. Durante i periodi di prova, gli errori di misurazione sulle diverse concentrazioni di gas sono sempre stati inferiori al 10%.

Il test site di Rimini invece, se confrontato con gli altri test site, ha la particolarità di avere gli impianti di illuminazione che sono tutti dotati di lampade a scarica.

Questo test è interessante dunque per valutare come funziona la tecnologia adattiva in un ambiente urbano con impianti di illuminazione non di ultima generazione.



*Figura 12*

Nel piano dell'illuminazione di Rimini era presente un sistema di comunicazione punto-punto. Il comune ha eseguito la regolazione del flusso luminoso dell'illuminazione stradale a risparmio energetico con un ciclo pre-programmato.

In questa prospettiva, il risparmio energetico del test site di Rimini deve essere considerato un'applicazione completa di illuminazione adattativa conforme UNI 11248 su un impianto di illuminazione a scarica.

La Figura illustra lo scenario reale applicato insieme al sito di test di Rimini. Il traffico massimo per corsia è di 800 veicoli/ora. Durante la giornata presa ad esempio, il volume di traffico è stato sempre inferiore al valore nominale. In questa situazione, senza considerare i primi 10 minuti dall'accensione dell'impianto, il sistema inizia anticipatamente a regolare il flusso luminoso per raggiungere il livello di luminanza target.

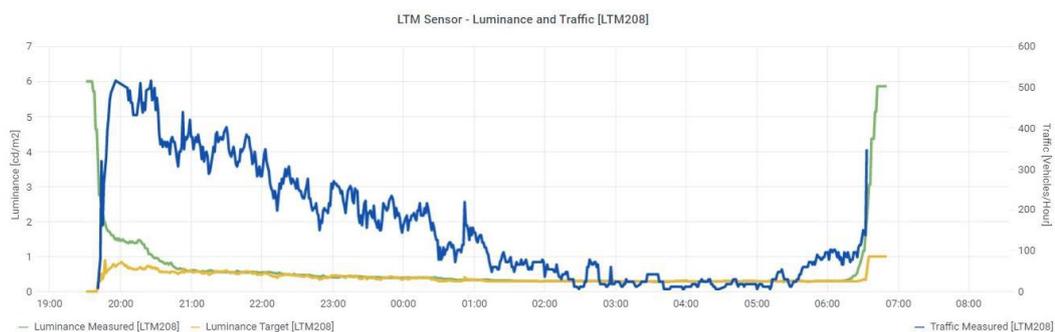


Figura 13

In questo modo, si può osservare che i risparmi energetici sono direttamente correlati al volume di traffico e i sistemi realizzano la riduzione degli sprechi energetici il prima possibile. Nell'esempio, il traffico era significativamente inferiore ai valori nominali e l'illuminazione adattiva funziona bene in questa condizione per mantenere bassi i consumi e un'elevata sicurezza stradale.

La linea verde rappresenta il livello di luminanza determinato dal sistema adattivo. La linea gialla, riferita alla UNI 11248, indica il livello di luminanza che il sistema può raggiungere. In blu, il livello del volume di traffico.

Si può osservare che il sistema può guidare saldamente i livelli di luminanza vicino agli obiettivi di luminanza, ottenendo un significativo risultato di risparmio energetico anche con lampade a scarica e che quindi una regolazione efficiente è possibile anche con tecnologia diversa dal LED.

Il sistema adattivo, rispetto alla strategia pre-regolata, ha fornito un risparmio energetico del 44,8% durante il periodo di prova.

Rispetto alla strategia full light, i risultati nello stesso periodo hanno fornito un risparmio energetico del 58,4%.

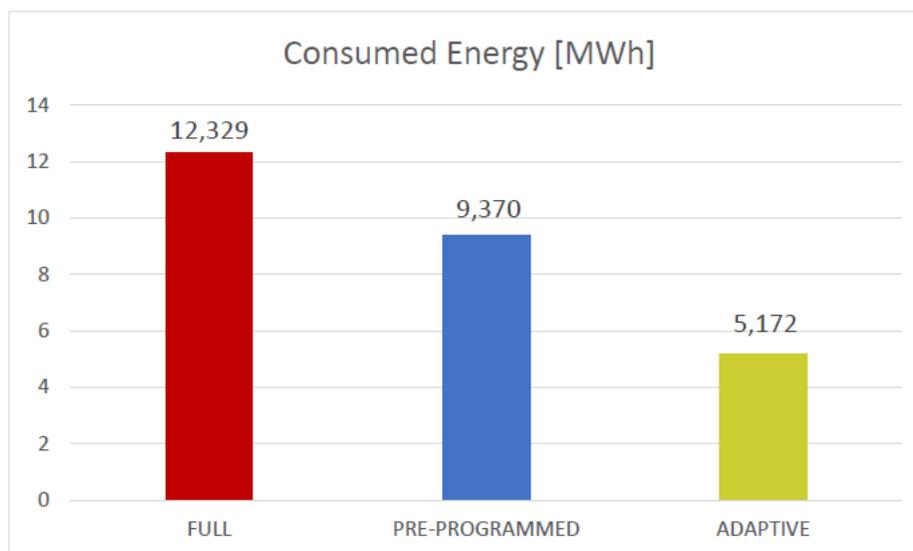


Figura 14

I risultati hanno confermato che un impianto di illuminazione a sistema adattivo potrebbe fornire un notevole risparmio energetico, notevoli emissioni di gas serra e un costo di produzione inferiore per la funzionalità di illuminazione stradale.

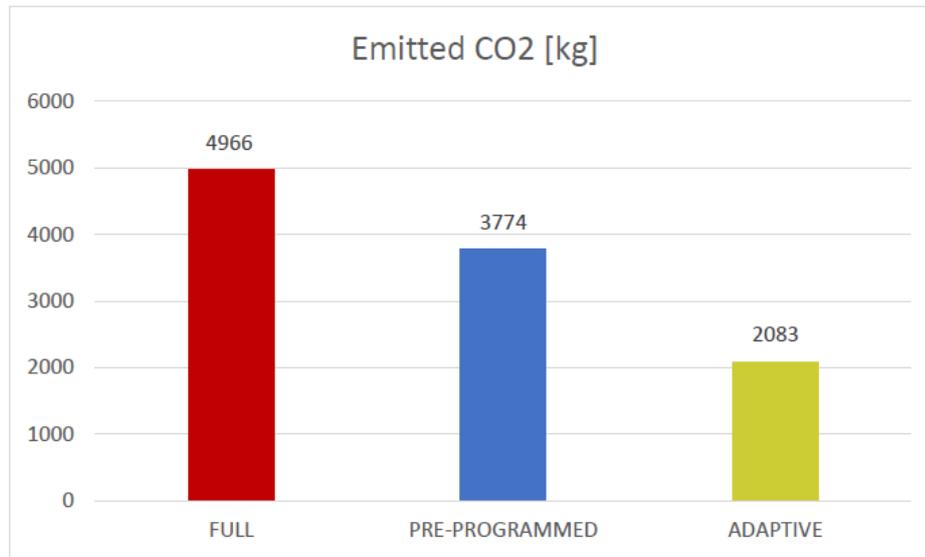


Figura 15

## 5. Sistema di telecontrollo nella città di Torino

Attualmente, nella città di Torino la gestione del telecontrollo si appoggia su un sistema SCADA, e per una ragione di richieste e specifiche deve avere una ridondanza forte nel sistema. È stato suddiviso in cluster, e ogni cluster, ovvero ogni gruppo di funzioni, si appoggia su due server, un primary e un backup. Quando va tutto bene operano i primary e in sala telecontrollo, tramite dei client di applicazione, si può vedere la struttura di tutti i cluster. L'operatore vede tutta la mappa e la struttura e può operare solo sui singoli quadri.

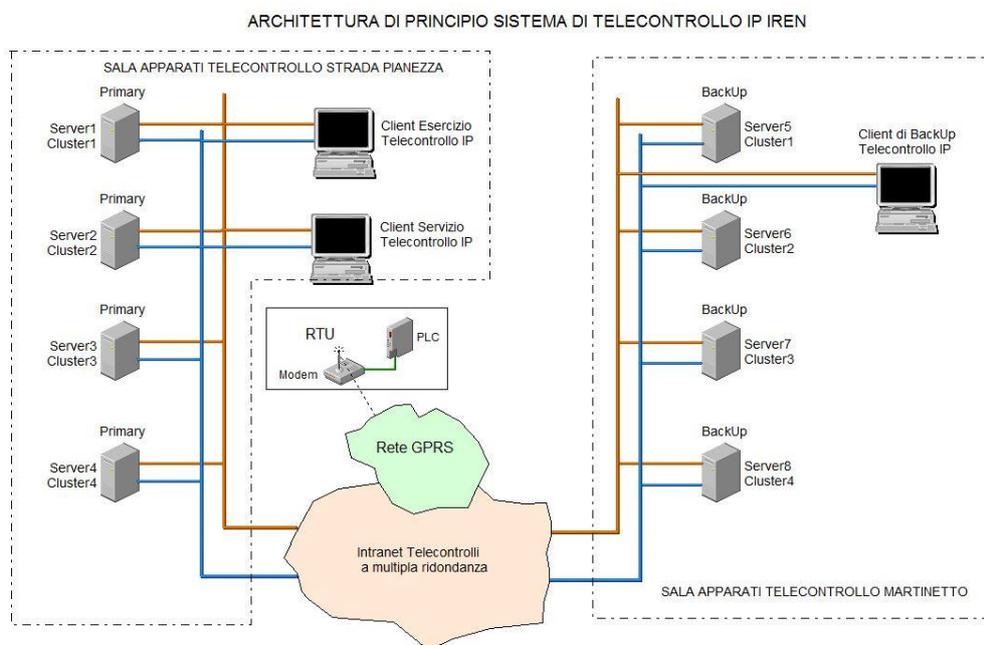


Figura 16

Poi ci sono i server gemelli, che sono in un'altra sala telecontrollo, dove c'è un client di telecontrollo che permette in caso di default totale di questa architettura di poter operare da questo lato del controllo. In più c'è un client di servizio per poter fare le configurazioni.

## 5.1. Funzionamento

Ogni server ha due reti, ridondanti, così come gli alimentatori. Tramite server destinati ad altri utilizzi, come quelli Telecom, si passa sulla rete GPRS per poter comunicare attraverso la rete.

La RTU è composta da un PLC e un modem. È bene specificare che è un modem e non un router perché il modem non isola la rete dal dispositivo, per cui l'indirizzo ip è affacciato alla rete. Sono modem che hanno una connessione GPRS verso la rete e una connessione RS232, quindi una porta seriale, verso il PLC con un protocollo modbus. Per far andare il protocollo modbus sulla rete, si hanno server appositi che permettono di non far variare mai gli indirizzi, in modo che essi siano sempre raggiungibili. Questo dispositivo, quindi, fa da tramite tra lo SCADA e il PLC. Il PLC opera sulla sua porta seriale in modbus. Questi modem sono stati leggermente manipolati, infatti sono modem standard su cui sono stati inseriti degli script che permettono di mascherare alcuni stati del modbus, affinché i server di backup capiscano che un primary è caduto, quindi spento o guasto, e possano entrare in servizio e sostituire i primary. Per capire che deve entrare in servizio, continua a scambiare tramite il server e tramite la rete; quindi, manda pacchetti di interrogazione alla RTU nel momento che il primary non sta interrogando e questo avviene se il modem è un modem per modbus tcp, cioè un modbus dedicato alle reti. Si ha il vantaggio che qualsiasi dispositivo che lavori in ethernet ha la possibilità di aprire più socket contemporanei.

Questo modem però presentava un problema. Succede infatti che quando il server di backup tentava di connettersi al plc per avere la risposta, per capire cioè se dovesse intervenire lui o il primary, i due erano asincroni tra di loro e quindi entravano in collisione, col risultato finale che la rete si bloccava. Per non sostituire tutti i modem si è pensato di fare uno script all'interno dei modem che permettesse al sistema di impedire questa collisione. La soluzione futura potrebbe

essere quella di sostituire i modem con veri router 3g o 4g che funzionerebbero in modbus TCP al posto del modbus RTU base senza bisogno di cambiare null'altro nella configurazione attuale.

## 5.2. Architettura RTU

La RTU è composta da un plc con una porta seriale RS232 configurata all'interno del plc con protocollo modbus RTU collegata alla porta seriale del modem gprs che va in rete gprs, alimentato da carica batterie a 24 V che scambia segnali col plc tra cui quello di low battery, con cui stacca l'alimentazione. È preferibile, infatti, non alimentare del tutto il plc piuttosto che alimentarlo con tensioni pericolose. All'interno del software del programma del plc c'è la possibilità di fare il test della batteria, programmabile in data e ora, che manda un comando di test al caricabatterie che si predisporrà a non essere alimentato dai 48 V. Se la batteria riesce a sostenere un determinato carico per alcuni minuti, la batteria è ancora utilizzabile, altrimenti all'interno del plc viene settato un flag ad indicare che per quel quadro la batteria è da sostituire.

## ARCHITETTURA RTU ILLUMINAZIONE PUBBLICA

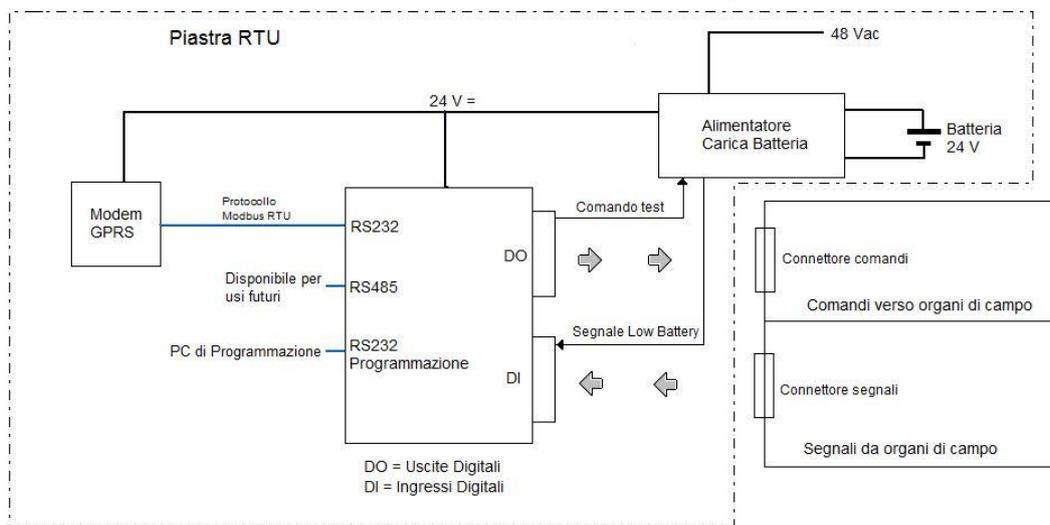


Figura 17

Il plc ha una porta di programmazione 232 con un protocollo proprietario e ha anche una porta per eventuali usi futuri, come regolatori di flusso, letture di potenza ecc.

La RTU presenta anche una serie di funzioni speciali come:

- Real time clock

Trattandosi di RTU in grado di seguire il calendario astronomico è indispensabile che sia disponibile un orologio con batteria di backup in grado di rendere disponibili i valori di Data, intesa come Anno, Mese e Giorno e giorno della settimana, e l'Orà intesa come ora, minuti e secondi. L'algoritmo SW dovrà permettere di aggiornare tutti i parametri Data e ora tramite comandi strutturati provenienti dal Posto Centrale.

- Gestione ora legale

È indispensabile che le logiche della RTU siano in grado di calcolare, in qualsiasi momento la RTU venga accesa, la condizione di “ORA SOLARE” o “ORA LEGALE”. Questa condizione deve correggere automaticamente l’orologio della RTU (aggiungendo o togliendo un’ora) e correggere l’offset delle tabelle astronomiche che essendo legate alle fasi solari non vengono mai modificate.

- Gestione interruttore con feedback

L’applicazione riceve dal Posto Centrale il comando di Chiusura/Apertura interruttore motorizzato. Il modulo dedicato alla funzione riceve in ingresso il codice del comando già decodificato e verificato dal modulo di Decodifica comandi e lo elabora per attivare i relè corrispondenti. La procedura attiva il “relè Master” e dopo un tempo configurabile attiva il corrispondente relè di comando. All’attivarsi del relè Master viene attivata una procedura di “time out” che si aspetta il cambio di stato dei due contatti dell’interruttore in modo congruente al comando effettuato. Se nel tempo stabilito non viene rilevata congruenza viene attivato il corrispondente bit di “anomalia comando” che sarà scritto nella parola di Telesegnali letta dal Posto Centrale. Se il comando va a buon fine e il feedback è congruente l’eventuale bit di “anomalia comando” verrà posto a zero.

- Gestione Tabelle Orarie

Al fine di gestire in modo autonomo le fasi di accensione e spegnimento dovranno essere memorizzate in Word retentive i valori orari delle tabelle astronomiche allegate. Si tratta di 366 valori di accensione e 366 valori di spegnimento (sono previsti anche gli anni bisestili in cui febbraio è di 29 giorni) per un totale di 732 Word retentive o meglio scritte su Costant Word. Il modulo di gestione delle tabelle astronomiche dovrà estrarre il valore di ora accensione e ora spegnimento avendo come parametro i valori anno, mese e giorno per poter localizzare con certezza l’elemento della tabella. In base al valore caricato il modulo applicativo provvederà ad effettuare l’attivazione del corrispondente relè di accensione o di spegnimento. Il modulo riceverà in ingresso dei valori correttivi (offset) espressi in

minuti e provenienti dal Posto Centrale. Questi valori saranno sommativi o sottrattivi e il risultato finale sarà scritto in una DoubleWord contenente il valore attuale di accensione/spegnimento.

- Offset tabelle

Le tabelle astronomiche caricate in RTU sono le stesse caricate nel database del Posto Centrale ma, con un offset fisso di 5 minuti in più. Sarà possibile inviare dal Posto Centrale un correttivo aggiuntivo da 1 a 3 minuti che porterà l'offset complessivo tra RTU e Centro a otto minuti. Al fine di rendere sufficientemente random le manovre degli interruttori onde evitare pendolazioni in rete, si è introdotto un ulteriore algoritmo di calcolo che ricevendo dal Centro un delay espresso in secondi (range 1-63 secondi) garantisce che per gruppi di quadri non ci sia mai la contemporaneità di comando spontaneo.

- Test Batteria

Il modulo di gestione del test Batteria attiva il processo quando il giorno della settimana e l'ora, coincidono con quelli impostati. Viene attivata l'uscita a relè il cui contatto chiude i pin di Inhibit dell'alimentatore che effettua il test batteria. Il test viene mantenuto per un tempo configurabile e se entro tale tempo interviene la soglia di Batteria Bassa il test viene terminato e viene attivato il bit di AllarmeLowBatt che è inserito nella word di sistema da inviare al Centro. Dopo 60" il bit di allarme viene cancellato. Se la fase di test avviene durante un intervallo di tempo in cui la RTU non comunica con il Centro, l'allarme sarà inviato in concomitanza del prossimo Test.

- Controllo spontanee

Se nel caso il posto centrale non è in grado di trasmettere il comando di accensione o spegnimento, il periferico è in grado di farlo autonomamente. Se però tutti i periferici lo facessero

contemporaneamente si avrebbe un carico enorme sulla rete. Facendo questo sistema di randomizzazione del sistema si limita questa contemporaneità.

## 6. Protocollo MODBUS

MODBUS è un protocollo di messaggistica a livello applicativo, posizionato al livello 7 del modello OSI, che fornisce la comunicazione client/server tra dispositivi collegati su diversi tipi di bus o reti. È lo standard di fatto seriale del settore dal 1979, MODBUS continua a consentire a milioni di dispositivi di automazione di comunicare. MODBUS è un protocollo di richiesta/risposta e offre servizi specificati da codici funzione. I codici funzione MODBUS sono elementi delle PDU di richiesta/risposta MODBUS.

Il protocollo MODBUS consente una facile comunicazione all'interno di tutti i tipi di rete architetture. Qualsiasi tipo di dispositivo (PLIGHT CONTROLLER, HMI, Pannello di controllo, Driver, Motion control, I/O Device...) può utilizzare il protocollo MODBUS per avviare un'operazione remota.

La stessa comunicazione può essere effettuata sia su linea seriale che su reti Ethernet TCP/IP. I gateway consentono una comunicazione tra diversi tipi di bus o reti utilizzando il protocollo MODBUS.

### 6.1. Descrizione generale

#### 6.1.1. Descrizione del protocollo

Il protocollo MODBUS definisce un'unità dati di protocollo semplice (PDU) indipendente dagli strati di comunicazione sottostanti. La mappatura del protocollo MODBUS su bus o reti specifici può introdurre alcuni campi aggiuntivi sull'unità dati dell'applicazione (ADU).

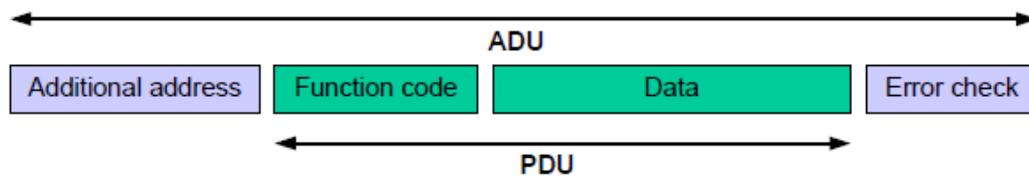


Figura 18

L'unità dati dell'applicazione MODBUS viene creata dal client che avvia una transazione MODBUS. La funzione indica al server che tipo di azione eseguire. Il protocollo MODBUS stabilisce il formato di una richiesta avviata da un client.

Il campo del codice funzione di un'unità dati MODBUS è codificato in un byte. I codici validi sono in intervallo di 1 ... 255 decimale (l'intervallo 128 – 255 è riservato e utilizzato per l'eccezione risposte).

Quando un messaggio viene inviato da un Client a un dispositivo Server, il campo del codice funzione dice al server che tipo di azione eseguire. Il codice funzione "0" non è valido. I codici di sottofunzione vengono aggiunti ad alcuni codici di funzione per definire più azioni.

Il campo dati dei messaggi inviati da un client ai dispositivi server contiene ulteriori informazioni che il server utilizza per eseguire l'azione definita dal codice funzione. Questo può includere elementi come indirizzi discreti e di registro, la quantità di articoli da gestire e il conteggio dei byte di dati effettivi nel campo. Il campo dati potrebbe essere inesistente (di lunghezza zero) in alcuni tipi di richieste, in questo caso il server non richiede alcuna informazione aggiuntiva. Il codice funzione da solo specifica l'azione.

Se non si verifica alcun errore relativo alla funzione MODBUS richiesta in un MODBUS ADU correttamente ricevuto, il campo dati di una risposta da un server a un client contiene i dati richiesti. Se si verifica un errore relativo alla funzione MODBUS richiesta, il campo

contiene un codice di eccezione che l'applicazione server può utilizzare per determinare l'azione successiva da intraprendere.

Ad esempio, un client può leggere gli stati ON/OFF di un gruppo di uscite o ingressi discreti o può leggere/scrivere il contenuto dei dati di un gruppo di registri.

Quando il server risponde al client, utilizza il campo del codice funzione per indicare una risposta normale (senza errori) o che si è verificato un qualche tipo di errore (chiamato eccezione risposta). Per una risposta normale, il server fa semplicemente eco alla richiesta dell'originale codice funzione.

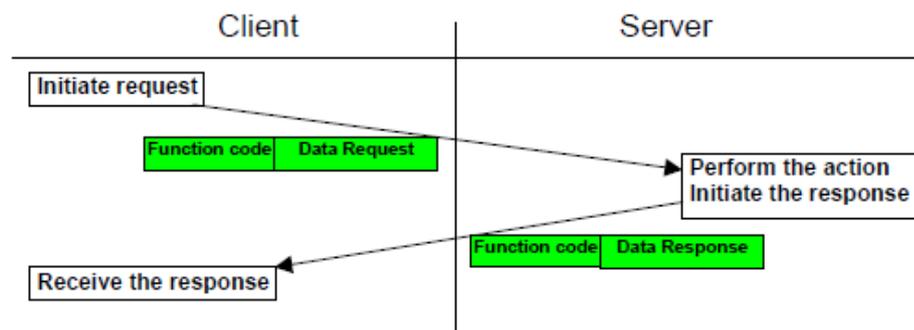


Figura 19

Per una risposta di eccezione, il server restituisce un codice equivalente all'originale codice funzione dalla PDU di richiesta con il bit più significativo impostato su 1 logico.

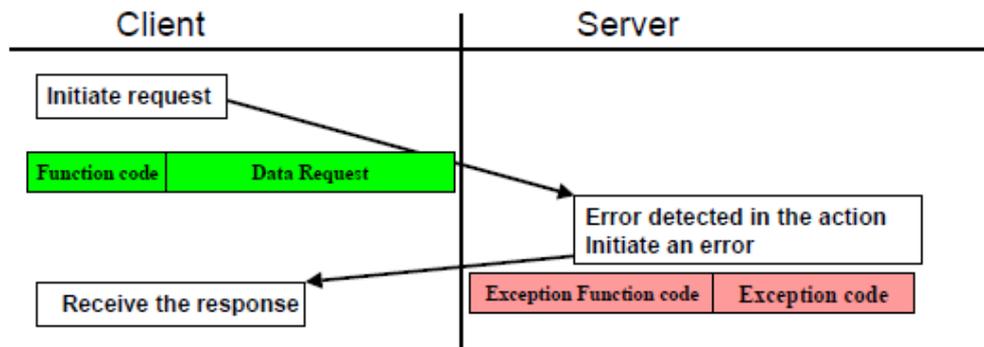


Figura 20

### 6.1.2. Modello dati MODBUS

MODBUS basa il proprio modello dati su una serie di tabelle che hanno caratteristiche distintive.

Le quattro tabelle principali sono:

Primary tables	Object type	Type of	Comments
Discretes Input	Single bit	Read-Only	This type of data can be provided by an I/O system.
Coils	Single bit	Read-Write	This type of data can be alterable by an application program.
Input Registers	16-bit word	Read-Only	This type of data can be provided by an I/O system
Holding Registers	16-bit word	Read-Write	This type of data can be alterable by an application program.

Le distinzioni tra ingressi e uscite e tra singoli bit indirizzabili e elementi di dati indirizzabili, non implica alcun diverso comportamento dell'applicazione. È perfettamente accettabile, e molto comune, considerare tutte e quattro le tabelle come

sovrapposte, se questa è la cosa più naturale interpretazione sulla macchina in questione.

Per ciascuna delle tabelle primarie, il protocollo consente la selezione individuale di 65536 elementi di dati, e le operazioni di lettura o scrittura di tali elementi sono progettate per estendersi su più elementi di dati consecutivi fino a un limite di dimensione dei dati che dipende dal codice della funzione di transazione.

È ovvio che tutti i dati gestiti via MODBUS (bit, registri) devono trovarsi nel dispositivo di memoria dell'applicazione. Ma l'indirizzo fisico in memoria non deve essere confuso con i dati di riferimento. L'unico requisito è collegare i dati di riferimento con l'indirizzo fisico.

I numeri di riferimento logici MODBUS, utilizzati nelle funzioni MODBUS, sono indici interi non contrassegnati che iniziano da zero.

### 6.1.3. Definizione della transazione MODBUS

Il diagramma di stato seguente descrive l'elaborazione generica di una transazione MODBUS su lato server.

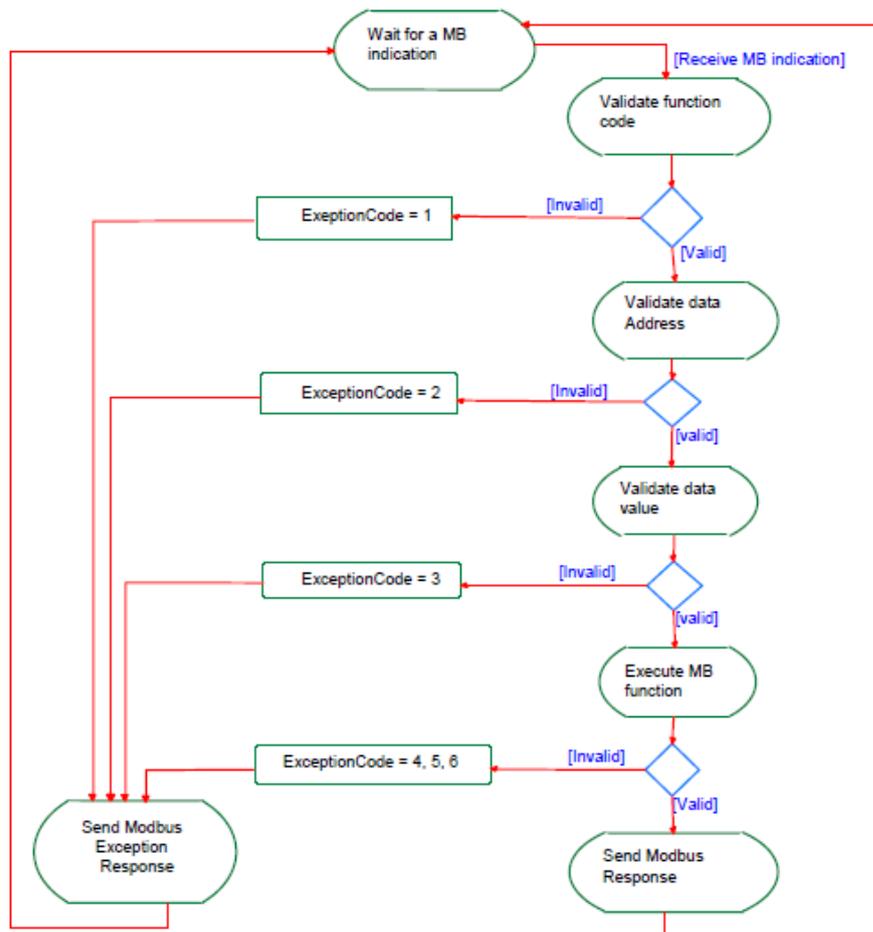


Figura 21

Una volta che la richiesta è stata elaborata da un server, una risposta MODBUS, utilizzando un'adeguata transazione del server MODBUS, viene creata.

A seconda del risultato dell'elaborazione si hanno due tipi di risposta:

- Una risposta MODBUS positiva:  
codice della funzione di risposta = codice della funzione di richiesta
- Una risposta di eccezione MODBUS:

l'obiettivo è fornire al cliente informazioni rilevanti in merito all'errore rilevato durante l'elaborazione;  
viene fornito un codice di eccezione per indicare il motivo dell'errore.

#### 6.1.4. Categorie di codici funzione

Esistono tre categorie di codici delle funzioni MODBUS. Sono:

##### *Codici di funzione pubblica*

- Sono codici funzione ben definiti
- Garantito per essere unici
- Convalidati dalla comunità MODBUS-IDA.org,
- Documentati pubblicamente
- Dispongono di test di conformità,
- Includono sia codici funzione assegnati pubblici e definiti, sia funzioni non assegnate riservate per usi futuri.

##### *Codici funzione definiti dall'utente*

- Sono disponibili due intervalli di codici funzione definiti dall'utente, ovvero da 65 a 72 e da 100 a 110 decimale.
- L'utente può selezionare e implementare un codice funzione che non è supportato dalla specifica.
- Non vi è alcuna garanzia che l'utilizzo del codice funzione selezionato sarà univoco

### *Codici funzione riservati*

- Codici funzione attualmente utilizzati da alcune aziende per prodotti legacy. Non sono disponibili per uso pubblico.
- 

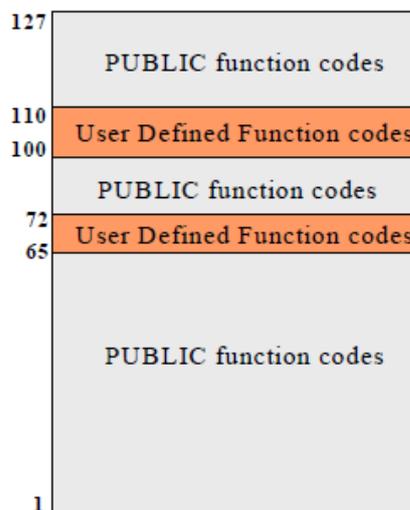


Figura 22

#### 6.1.5. Risposte di eccezione MODBUS

Quando un client invia una richiesta a un server, si aspetta una risposta normale. Uno di quattro possibili eventi possono verificarsi dalla query del master:

- Se il server riceve la richiesta senza un errore di comunicazione, e può gestire la query normalmente, restituisce una risposta normale.
- Se il server non riceve la richiesta a causa di un errore di comunicazione, nessuna risposta viene restituita. Il client elaborerà infine una condizione di timeout per la richiesta.

- Se il server riceve la richiesta, ma rileva un errore di comunicazione, non viene restituita alcuna risposta. Il client elaborerà eventualmente una condizione di timeout per la richiesta.
- Se il server riceve la richiesta senza un errore di comunicazione, ma non può gestirla (ad esempio, se la richiesta è di leggere un output o un registro inesistente), il server restituirà una risposta di eccezione informando il client della natura dell'errore.

Il messaggio di risposta di eccezione ha due campi che lo differenziano da una risposta normale:

- *Campo codice funzione*: in una risposta normale, il server fa eco al codice funzione di richiesta originale nel campo codice funzione della risposta. Tutti i codici funzione hanno un bit più significativo (MSB) di 0 (i loro valori sono tutti inferiori a 80 esadecimali). In una risposta di errore, il server imposta l'MSB del codice funzione su 1. Questo rende il valore del codice funzione di una risposta di eccezione esattamente 80 esadecimali superiore al valore di una risposta normale. Con l'MSB del codice funzione impostato, il programma applicativo del client può riconoscere la risposta di eccezione e può esaminare il campo dati per il codice di eccezione.
- *Campo dati*: in una risposta normale, il server può restituire dati o statistiche nel campo dati (qualsiasi informazione richiesta nella richiesta). In una risposta di eccezione, il server restituisce un codice di eccezione nel campo dati. Questo definisce la condizione del server che ha causato l'eccezione.

## 6.2. MODBUS Messaging on TCP/IP

### CLIENT/SERVER MODEL

Il servizio di messaggistica MODBUS fornisce una comunicazione Client/Server tra dispositivi collegati su una rete Ethernet TCP/IP.

Questo modello client/server si basa su quattro tipi di messaggi:

- Richiesta MODBUS, è il messaggio inviato in rete dal Cliente per avviare una transazione
- Conferma MODBUS, è il Messaggio di Risposta ricevuto dal Cliente
- Indicazione MODBUS, è il messaggio di richiesta ricevuto sul lato Server
- Risposta MODBUS, è il messaggio di Risposta inviato dal Server

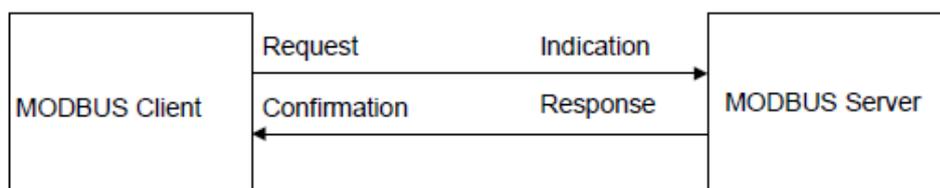


Figura 23

I servizi di messaggistica MODBUS (Modello Client/Server) vengono utilizzati per lo scambio di informazioni in tempo reale

Abbreviazioni utilizzate:

ADU: Application Data Unit

IETF: Internet Engineering Task Force

IP: Internet Protocol

MAC: Medium Access Control

MB: MODBUS

MBAP: MODBUS Application Protocol

PDU: Protocol Data Unit

PLIGHT CONTROLLER: Programmable Logic Controller

TCP: Transport Control Protocol

BSD: Berkeley Software Distribution

MSL: Maximum Segment Lifetime

#### 6.2.1. Architettura generale della comunicazione

Un sistema di comunicazione su MODBUS TCP/IP può includere diversi tipi di dispositivi:

- Dispositivi client e server MODBUS TCP/IP collegati a una rete TCP/IP
- I dispositivi di Interconnessione come bridge, router o gateway per l'interconnessione tra la rete TCP/IP e una sottorete di linea seriale che consentono il collegamento di terminali Client e Server su linea seriale MODBUS.

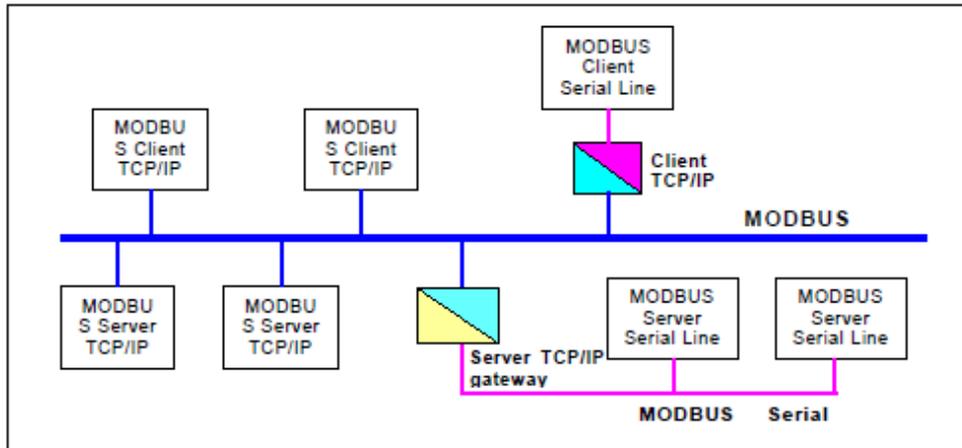


Figura 24

Il protocollo MODBUS definisce una semplice Protocol Data Unit (PDU) indipendente dai livelli di comunicazione sottostanti. La mappatura del protocollo MODBUS su bus o reti specifici può introdurre alcuni campi aggiuntivi sull'Application Data Unit (ADU). I client che avvia una transazione MODBUS crea l'unità dati dell'applicazione MODBUS. Il codice funzione indica al server quale tipo di azione eseguire.

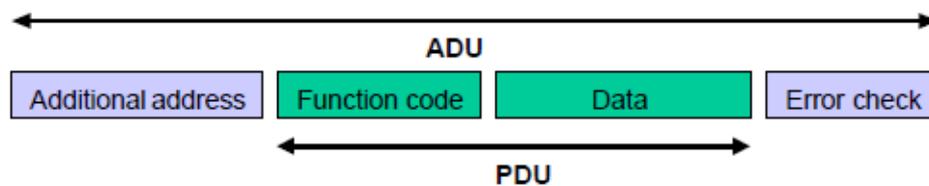


Figura 25

### 6.2.2. Unità dati applicazione MODBUS su TCP/IP

Questa sezione descrive l'incapsulamento di una richiesta o risposta MODBUS quando viene eseguita su una rete MODBUS TCP/IP sull'Application Data Unit (ADU).

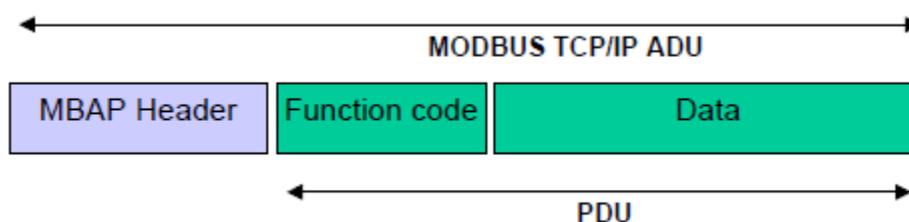


Figura 26

Un'intestazione dedicata viene utilizzata su TCP/IP per identificare l'unità dati dell'applicazione MODBUS. Si chiama intestazione MBAP (intestazione del MODBUS Application Protocol). Questa intestazione fornisce alcune differenze rispetto all'unità dati dell'applicazione MODBUS RTU utilizzata sulla linea seriale:

- Il campo MODBUS 'slave address' solitamente utilizzato sulla linea seriale MODBUS, viene sostituito da un singolo byte 'Unit Identifier' all'interno dell'intestazione MBAP. Lo 'Unit Identifier' viene utilizzato per comunicare tramite dispositivi come bridge, router e gateway che utilizzano un unico indirizzo IP per supportare più unità terminali MODBUS indipendenti.
- Tutte le richieste e le risposte MODBUS sono progettate in modo tale che il destinatario possa verificare che un messaggio sia terminato. Per i codici funzione in cui la PDU MODBUS ha una lunghezza fissa, il solo codice funzione è sufficiente. Per i codici funzione che contengono una

quantità variabile di dati nella richiesta o nella risposta, il campo dati include un conteggio di byte.

- Quando MODBUS viene trasferito su TCP, nell'intestazione MBAP vengono trasportate ulteriori informazioni sulla lunghezza per consentire al destinatario di riconoscere i limiti del messaggio anche se il messaggio è stato suddiviso in più pacchetti per la trasmissione. L'esistenza di regole di lunghezza esplicite e implicite e l'uso di un codice di controllo degli errori CRC-32 (su Ethernet) comporta una possibilità infinitesimale di danneggiamento non rilevato di un messaggio di richiesta o risposta.

### 6.2.3. Descrizione dell'intestazione MBAP

L'intestazione MBAP contiene i seguenti campi:

Fields	Length	Description -	Client	Server
Transaction Identifier	2 Bytes	Identification of a MODBUS Request / Response transaction.	Initialized by the client	Recopied by the server from the received request
Protocol Identifier	2 Bytes	0 = MODBUS protocol	Initialized by the client	Recopied by the server from the received request
Length	2 Bytes	Number of following bytes	Initialized by the client ( request)	Initialized by the server ( Response)
Unit Identifier	1 Byte	Identification of a remote slave connected on a serial line or on other buses.	Initialized by the client	Recopied by the server from the received request

L'intestazione è lunga 7 byte:

- Transaction Identifier - Viene utilizzato per l'accoppiamento della transazione, il server MODBUS copia nella risposta l'identificatore della transazione della richiesta.
- Identificatore di protocollo: viene utilizzato per il multiplexing all'interno del sistema. Il protocollo MODBUS è identificato dal valore 0.
- Lunghezza: il campo della lunghezza è un conteggio di byte dei seguenti campi, inclusi l'identificatore di unità e i campi dati.
- Identificatore unità: questo campo viene utilizzato per scopi di instradamento all'interno del sistema. Viene generalmente utilizzato per comunicare con un MODBUS+ o uno slave di linea seriale MODBUS tramite un gateway tra una rete Ethernet TCP-IP e una linea seriale MODBUS. Questo campo è impostato dal Client MODBUS nella richiesta e deve essere restituito con lo stesso valore nella risposta dal server.

#### 6.2.4. Modello di architettura dei componenti MODBUS

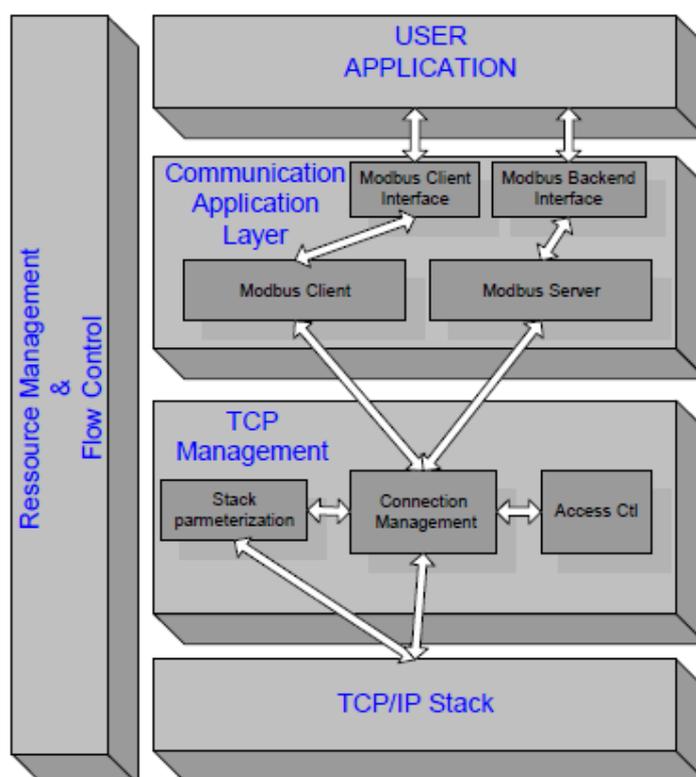


Figura 27

- Livello dell'applicazione di comunicazione

Un dispositivo MODBUS può fornire un'interfaccia MODBUS client e/o server.

Può essere fornita un'interfaccia di back-end MODBUS che consente l'accesso indiretto agli oggetti applicativi dell'utente.

Quattro aree possono comporre questa interfaccia: input discreti, output discreti (bobine), input register e output register. È necessario eseguire una pre-mappatura tra questa interfaccia e i dati dell'applicazione utente (problema locale).

Primary tables	Object type	Type of	Comments
Discretes Input	Single bit	Read-Only	This type of data can be provided by an I/O system.
Coils	Single bit	Read-Write	This type of data can be alterable by an application program.
Input Registers	16-bit word	Read-Only	This type of data can be provided by an I/O system
Holding Registers	16-bit word	Read-Write	This type of data can be alterable by an application program.

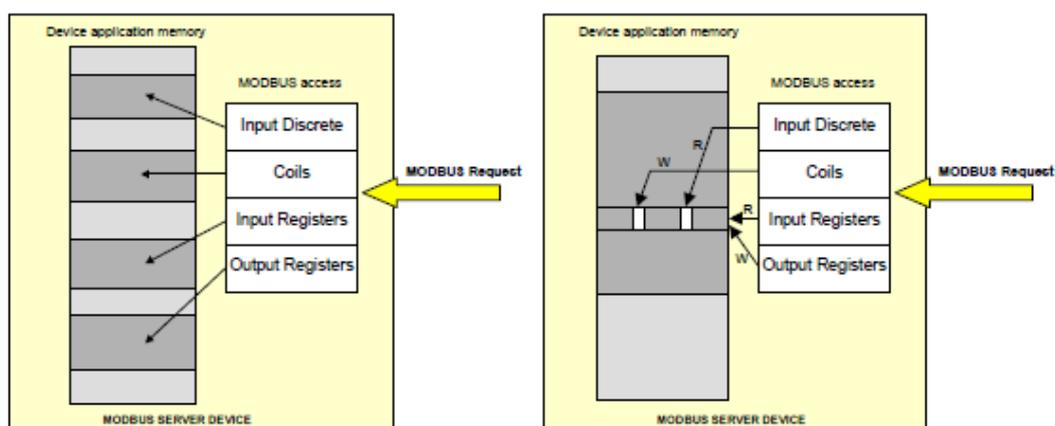


Figura 28

- Client MODBUS

Il client MODBUS consente all'applicazione utente di controllare esplicitamente lo scambio di informazioni con un dispositivo remoto. Il client MODBUS crea una richiesta MODBUS dal parametro contenuto in una richiesta inviata dall'applicazione utente all'interfaccia client MODBUS.

Il Client MODBUS utilizza una transazione MODBUS la cui gestione prevede l'attesa e l'elaborazione di una conferma MODBUS.

- Interfaccia client MODBUS

L'interfaccia client MODBUS fornisce un'interfaccia che consente all'applicazione utente di creare le richieste per vari servizi MODBUS, incluso l'accesso agli oggetti dell'applicazione MODBUS. L'interfaccia MODBUS Client (API) non fa parte di

questa specifica, sebbene un esempio sia descritto nel modello di implementazione.

- Server MODBUS

Alla ricezione di una richiesta MODBUS questo modulo attiva un'azione locale per leggere, scrivere o per realizzare altre azioni. L'elaborazione di queste azioni avviene in modo totalmente trasparente per il programmatore dell'applicazione. Le principali funzioni del server MODBUS consistono nell'attesa di una richiesta MODBUS sulla porta 502 TCP, per trattare questa richiesta e quindi per costruire una risposta MODBUS a seconda del contesto del dispositivo.

- Interfaccia di backend MODBUS

L'interfaccia backend MODBUS è un'interfaccia dal server MODBUS all'applicazione utente in cui sono definiti gli oggetti dell'applicazione

- Gestione delle connessioni

Una comunicazione tra un modulo MODBUS client e server richiede l'utilizzo di un modulo di gestione della connessione TCP. È responsabile della gestione delle connessioni TCP di messaggistica globale.

Vengono proposte due possibilità per la gestione della connessione. O l'applicazione utente stessa gestisce le connessioni TCP o la gestione della connessione è completamente eseguita da questo modulo e quindi è trasparente per l'applicazione utente. L'ultima soluzione implica una minore flessibilità.

La porta TCP in ascolto 502 è riservata alle comunicazioni MODBUS. È obbligatorio ascoltare per impostazione predefinita su quella porta. Tuttavia, alcuni mercati o applicazioni potrebbero richiedere che un'altra porta sia dedicata a MODBUS su TCP. Per questo motivo, si raccomanda vivamente che i client e i server diano la possibilità all'utente di parametrizzare il numero di porta MODBUS su TCP. È importante notare che anche se un'altra porta

del server TCP è configurata per il servizio MODBUS in alcune applicazioni, la porta del server TCP 502 deve essere ancora disponibile oltre a qualsiasi porta specifica dell'applicazione.

- Modulo di controllo accessi

In alcuni contesti critici, l'accessibilità ai dati interni dei dispositivi deve essere vietata agli host indesiderati. Ecco perché è necessaria una modalità di sicurezza e, se necessario, è possibile implementare un processo di sicurezza.

- Livello stack TCP/IP

Lo stack TCP/IP può essere parametrizzato per adattare il controllo del flusso di dati, la gestione degli indirizzi e la gestione delle connessioni a diversi vincoli specifici di un prodotto o di un sistema. Generalmente l'interfaccia socket BSD viene utilizzata per gestire le connessioni TCP.

- Gestione delle risorse e controllo del flusso di dati

Per equilibrare il flusso di dati di messaggistica in entrata e in uscita tra il client MODBUS e il server, in tutti i livelli dello stack di messaggistica MODBUS viene fornito un meccanismo di controllo del flusso di dati.

Il modulo di gestione delle risorse e controllo del flusso si basa innanzitutto sul controllo del flusso interno TCP aggiunto con alcuni controlli del flusso di dati nel livello del collegamento dati e anche nel livello dell'applicazione utente.

## 7. Criticità dei sistemi di telecontrollo

I sistemi presentati, sono tutti molto simili tra di loro ad eccezione di quello presente nella città di Torino. Questo accade perché in questo caso si è scelto di non usare un sistema commerciale presente sul mercato ma di svilupparne uno individuale ed originale, quindi studiato proprio per la città. Il sistema scelto ha dunque il vantaggio di non dover dipendere da qualcuno di esterno alla società di gestione del servizio di illuminazione pubblica, ma l'ovvio svantaggio di non avere nessun supporto in caso di problematiche che si potrebbero sviluppare in corso d'opera e il rischio di restare indietro dal punto di vista tecnologico e ritrovarsi con un sistema obsoleto. Utilizzando altri sistemi invece la responsabilità dello sviluppo è delegata a società esterne, con un costo in più ovviamente, ma ci si può concentrare più sul controllo dell'illuminazione, analizzando le criticità presenti in una città.

Inoltre al momento il sistema di telecontrollo installato a Torino, difficilmente si integra in un contesto di città intelligente, dal momento che si tratta di un sistema chiuso, che non comunica con altri sistemi che non fanno parte dell'infrastruttura dedicata all'illuminazione pubblica, a differenza degli altri sistemi di telecontrollo che stanno integrando queste funzioni di anno in anno.

Il sistema di telecontrollo per l'illuminazione pubblica installato a Torino è datato e presenta problemi di obsolescenza sui server su cui sono presenti i software. Per sviluppare il sistema già presente, senza portare a un totale cambiamento della gestione del telecontrollo, si potrebbe sfruttare la gestione di un eventuale porta seriale aggiuntiva già presente nel PLC per poter collegare qualche analizzatore di rete ad esempio, porte che oltre che ad essere già presenti, sono anche già configurate in modbus tra l'altro, e così si può interrogare un ulteriore dispositivo esterno.

Si potrebbero inoltre sostituire i modem attuali con dei router. Il modem attuale comunica attraverso la porta del PLC in modbus,

non è possibile quindi a distanza inviare modifiche al programma, cosa che permetterebbe nel corso degli anni di modificare il funzionamento o verificare nuovi dati. Per fare ciò, utilizzando appunto un router con due porte, una sarebbe collegata alla porta modbus attuale e l'altra porta sarebbe collegata alla porta di servizio del PLC così che con un computer collegato in rete allo stesso indirizzo del router con una porta seriale può arrivare dentro al pc e trasferire i programmi (modificare tabelle astronomiche, ecc.).

La problematica principale è data però dal segnale GPRS, che rappresenta il vero collo di bottiglia di questo sistema di telecontrollo. Le linee GPRS infatti sono da tempo superate e sono sempre meno perché sostituite da linee di ultima generazione come ad esempio il 5G, ma il segnale già dall'installazione iniziale non è stato il massimo, a causa anche delle cabine sotterranee in cui il segnale è più debole. A questo problema si è parzialmente rimediato utilizzando delle sim card, anche di operatori diversi perché in determinate zone magari alcuni funzionano meglio di altri. Ci sono periodi inoltre, in cui il segnale viene a mancare e quindi il quadro non è raggiungibile. A volte lo è per necessità di manutenzione e per cui costringe un operatore ad andare in cabina, in loco, con i problemi e le tempistiche relative, solo per magari accendere o spegnere manualmente una determinata zona. Il telecomando utilizzato nel sistema di telecontrollo di Torino è un po' unico nel suo genere. I sistemi di telecontrollo per l'illuminazione pubblica sul mercato hanno il comando di accensione e spegnimento delle varie zone deputato alle periferiche attraverso i sensori di luminanza o luminosità. Questa soluzione da un lato permette l'automatizzazione del processo, ma dall'altro presenta alcune problematiche riguardo l'affidabilità del sensore. Il sensore infatti deve essere posizionato in maniera tale da non essere colpito dall'illuminazione pubblica e deve essere costantemente monitorato per quanto riguarda ad esempio la sua pulizia in modo che legga valori reali. Un'altra problematica da non sottovalutare sono le insegne dei negozi che potrebbero colpire i sensori e dunque falsificarne i valori in uscita dallo stesso. Nella città di Torino dunque, il comando di accensione e spegnimento è dato a livello centrale, come detto in precedenza, per evitare le

problematiche di cui sopra. In questo caso però la falla nel sistema è data dal fatto che se manca il segnale, per qualsiasi motivo, non arriva il comando. Per ovviare a questa evenienza, è presente una tabella precaricata in ogni quadro con gli orari di accensione e spegnimento che valuta una finestra temporale in cui, se alla fine di questa finestra non arriva il segnale dal sistema centrale, accende o spegne le periferiche. Questa soluzione permette di non lasciare completamente al buio alcune zone in assenza di segnale ma ovviamente l'orario di accensione e spegnimento sarà ritardato, con i relativi sprechi di energia che ciò comporta.

I quadri controllati nella città di Torino sono circa 500. Questo porta a una enorme mole di dati che dai quadri arrivano al sistema centrale e questi dati devono essere gestiti. I sistemi di telecontrollo per l'illuminazione pubblica che operano con linee diverse, tipo quelli punto a punto, moltiplicano ancora di più le informazioni inviate al sistema centrale e questo non è un problema da poco.



Figura 29

Questi dati devono infatti essere gestiti da personale specializzato tutto il giorno per tutti i giorni per segnalare tempestivamente le criticità e i malfunzionamenti, ma soprattutto per gestire i falsi segnali di errore che capitano più spesso di quel che si creda. Quindi è ovvio che aumentando la complessità del sistema, si riescono a ridurre gli sprechi di energia, ma aumentano proporzionalmente i costi d'esercizio a livello anche gestionale.

I costi d'esercizio non sono solo gestionali ma anche tecnici. Più i sensori o i light controller sono intelligenti, adattabili anche ad altri utilizzi, più costi introducono. Infatti, i light controller devono essere attivi 24 ore su 24, o perché supportano anche servizi IoT aggiuntivi o semplicemente perché ascoltare continuamente eventuali messaggi dal Centro di controllo. I light controller disponibili in commercio hanno un consumo energetico globale che varia tra 1 W e più di 5 W. Questa è una differenza molto significativa. In una prospettiva decennale (conservatrice) del piano di vita e considerando, ad esempio, una città media con 10 mila lampioni, le due soluzioni di consumo estreme potrebbero comportare una differenza di circa 3,5 GWh nell'intero periodo. Ciò corrisponde a centinaia di migliaia di dollari/euro, che potrebbero essere risparmiati con una corretta scelta del light controller. Chiaramente, il costo operativo di tale funzione non può superare il risparmio che fornisce. Il fatto è, tuttavia, che questa funzionalità si basa su comunicazioni frequenti in tempo reale (non solo pochi byte al giorno) il cui costo è da valutare attentamente. A questo proposito, sembra molto difficile ottenere da un operatore di telecomunicazioni il supporto per una tale quantità di traffico di dati con un costo annuo per ogni apparecchio significativamente inferiore al risparmio ottenuto attenuando dinamicamente la luce. Ne consegue che è necessario fornire al light controller la funzionalità di regolazione dinamica e una corretta scelta della tecnologia di comunicazione, che difficilmente potrebbe essere una rete di terze parti (es. cellulare), data la mole di dati richiesta, con il conseguente canone.

Un'altra criticità riguarda la gestione dei dati e della privacy di ogni individuo. Le tecnologie digitali stanno infatti cambiando l'illuminazione pubblica, da infrastruttura monofunzionale che fornisce illuminazione pubblica, a piattaforme multi-funzione utilizzate per la sorveglianza, il controllo del traffico, il monitoraggio della qualità dell'aria e altri scopi. Questa trasformazione sfida gli attuali assetti istituzionali che li gestiscono, poiché un approccio di

monopolio tradizionalmente isolato non è compatibile quando si ha a che fare con un'infrastruttura multiuso. La computazione e la ricombinazione dei dati raccolti con le tecnologie di rilevamento rappresentano un enorme potenziale per un'evoluzione dei lampioni nell'era digitale ampliando le loro funzionalità, da fonti di luce pubblica a piattaforme di dati e applicazioni pubbliche. L'enorme numero di lampioni installati in tutto il mondo, accanto all'alto grado di densità spaziale in cui sono collocati nelle città, dà loro il potenziale di diventare una vasta rete globale di nodi di dati interconnessi. I lampioni in futuro potrebbero creare più valore sociale ed economico dai dati genereranno che dalla luce che forniranno.

Attraverso un approccio che combina sondaggi con interviste semi-strutturate con i principali attori decisionali di città e aziende private, tutti coinvolti nel business e nel funzionamento di infrastrutture intelligenti e progetti di illuminazione intelligente, R. Duarte e L. Alvarez hanno dato una prima statistica sulle posizioni e le prospettive di tre categorie principali:

- (1) funzionari municipali coinvolti nell'attuazione di progetti di infrastrutture intelligenti, tra cui lampioni intelligenti
- (2) produttori tradizionali di apparecchiature per l'illuminazione stradale
- (3) aziende leader nel settore delle infrastrutture intelligenti.

Le risposte del sondaggio applicate ai rappresentanti del settore indicano un coinvolgimento crescente nei sistemi di telecontrollo per l'illuminazione pubblica, ma un interesse limitato nell'esplorazione nell'uso dei lampioni come un sistema infrastrutturale basato sui dati, al di fuori delle applicazioni legate alla luce e funzioni specifiche come hotspot Wi-Fi e sorveglianza. Alla domanda se le rispettive società hanno fornito qualsiasi tipo di soluzione di illuminazione stradale intelligente città, 19 intervistati su 30 hanno indicato di no; ma quel numero cresce fino a 22 alla domanda sulla probabilità che

le loro aziende ne forniscano uno entro il prossimo cinque anni, indicando un chiaro interesse a non essere esclusi da questo mercato. Gli intervistati hanno descritto in modo schiacciante le loro offerte come due prodotti: il controllo remoto dell'illuminazione e l'utilizzo dei lampioni per fornire connettività wireless, con solo alcune menzioni all'utilizzo dei lampioni come piattaforme multiuso, mostrando una prospettiva limitata sui loro utilizzi.

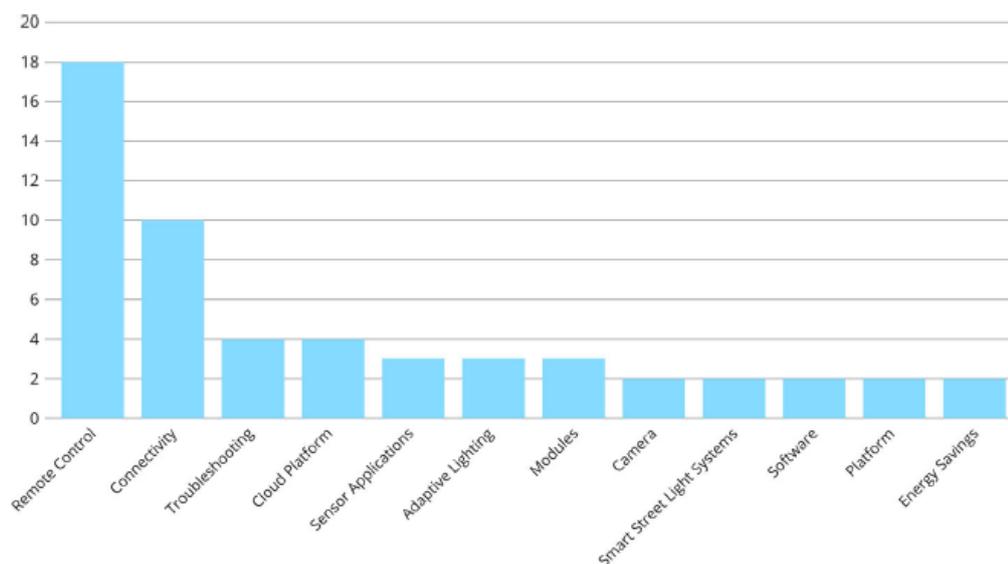


Figura 30

Inoltre, è stato chiesto a ciascun partecipante di elencare e classificare ciò che ciascuno considerava i tre attributi più importanti che devono avere i sistemi di telecontrollo. Gli attributi scelti elencati dai partecipanti intervistati variavano dall'aver tecnologie specifiche come i sistemi di telecontrollo, sensori di movimento o regolatori di luminosità per aumentare le efficienze nel consumo energetico o funzioni relative alla manutenzione, tra le altre.

Le risposte sono state classificate in concetti diversi come Affidabilità e Operazioni, risparmi energetici, IoT/Applicazioni basate sui dati e altro. In generale, si è ricevuta una risposta

schacciante a favore di prodotti incentrati sulle efficienze e l'affidabilità, nonché per applicazioni IoT e basate sui dati, poi la sorveglianza e gli usi legati alla sicurezza e infine Connettività e altre risposte. Si sono segnati gli attributi elencati assegnando tre punti a quegli attributi che sono stati scelti come "prima opzione, due punti a quelli che sono stati selezionati secondi e un punto a quelli che sono stati scelti terzi, per pesare la loro preferenza relativa tra le risposte del gruppo. I concetti, le frequenze di risposta e le risposte con punteggio sono mostrati nella tabella seguente.

Concept	Chosen Attribute 1	Chosen Attribute 2	Chosen Attribute 3	Response Frequency	Score
Reliability & Operations	8	8	4	20	44
Energy/Cost Efficiencies	9	5	5	19	42
IoT/Data Driven Applications	4	3	4	11	22
Surveillance & Safety	1	6	4	11	19
Connectivity	1	0	4	5	7
Other	1	0	1	2	4

Figura 31

Quando è stato chiesto specificamente cosa chiedono le città quando acquistano lampioni intelligenti, 11 intervistati hanno affermato che le città preferiscono i prodotti legati alla luce, seguite da 10 che hanno affermato che le città richiesto per applicazioni basate su sensori (ovvero, applicazioni e servizi che operano utilizzando dati generati dai sensori digitali in un'ampia gamma di usi) e relativi alla sorveglianza applicazioni (ovvero, applicazioni che si concentrano sul rilevamento, il monitoraggio e l'osservazione di esseri umani, comunemente utilizzato per operazioni di pubblica sicurezza). Sei intervistati hanno affermato che sono richiesti servizi Wi-Fi e servizi di connettività e tre di loro invece hanno affermato che le città non chiedevano qualcosa di specifico.

I leader del settore delle aziende che hanno un'agenda definita per le smart city ripongono una maggiore enfasi sul ruolo dei dati come caratteristica che definisce il futuro dei sistemi di telecontrollo degli

impianti di illuminazione. Come sottolineato dal rappresentante di una grande azienda operante nel settore “data”:

*Nelle prime fasi delle città intelligenti, le città si definivano smart semplicemente dicendo: ho il Wi-Fi hotspot e una rete Wi-Fi... Sono una città intelligente. Ciò si è evoluto in soluzioni molto verticali. Voglio avere un'illuminazione intelligente oppure smart parking o smart traffic. Ora stai trovando sempre più città che sono già passate da quel processo e alcune città che l'hanno in qualche modo scavalcato, e [stanno] capendo il valore dei nostri dati e il valore dell'infrastruttura nel sistema, il che significa che è una vista orizzontale.*

Per alcune aziende, il punto chiave è l'intelligenza che può essere raccolta e reso operativa in ogni lampione:

*[Quanta intelligenza] puoi estrarre dai pali dei lampioni? Prima ancora di andare al cloud o persino andare al computer di qualcuno, [o] un dispositivo portatile, qualcosa deve essere fatto localmente; ecco perché estraiamo l'analisi dei margini. Che tipo di intelligenza si può estrarre alla radice?*

Per altre aziende invece il focus non è nemmeno su una particolare infrastruttura, ma piuttosto un obiettivo più ambizioso di creare una generale interoperabilità tra più servizi come trasporto, illuminazione e altri sistemi pubblici:

*Si tratta di come funziona lo spazio pubblico. Riguarda il modo in cui i servizi vengono forniti, in particolare intorno a mobilità e sostenibilità*

I rappresentanti delle città confermano quanto detto in precedenza, infatti la maggior parte delle città intervistate mantiene la centralità della luce come la ragion d'essere dei sistemi di telecontrollo, mentre pochi li vedono trasformarsi in una infrastruttura di raccolta di dati per le città. Diversi funzionari della città hanno riferito che i loro sistemi di telecontrollo per l'illuminazione stradale sono iniziati come tentativi di migliorare il risparmio energetico in tandem con il

retrofitting degli apparecchi con sistemi LED. Come ha spiegato l'intervistato di Melbourne:

*Le origini del programma dei lampioni erano che erano finanziati da un fondo di cooperazione per l'energia pulita. Quindi è stato originariamente attratto dai benefici ambientali dei LED. Ma il nostro team di ingegneri all'epoca era piuttosto lungimirante e abbiamo deciso di inserire l'indennità per le celle PE in modo da poter aggiungere altri sensori in futuro.*

A Stoccolma, il loro più grande progetto di illuminazione intelligente si è evoluto da una distribuzione iniziale centrata sui LED e sui sistemi di controllo per averli come parte di una strategia più ampia per l'intera infrastruttura della città. Nell'aprile 2017 la città ha lanciato una strategia, mirando a essere la più intelligente città nel mondo. In questo senso il loro approccio potrebbe essere considerato strategicamente opportunistico, visionario futuro dei sistemi di illuminazione come parte di una rete fissa di sensori appositamente costruita per generare dati dalle loro città.

I funzionari della città, tuttavia, possono diffidare dello sviluppo di una piattaforma senza un chiaro intento, quindi preferiscono concentrarsi sulla fornitura di servizi piuttosto che sulla creazione di piattaforme. C'è una pressione costante che i funzionari delle città devono affrontare tra la dimostrazione dell'immediata utilità dell'investimento pubblico per i cittadini e il fornire alla città e ai suoi cittadini una piattaforma per la sperimentazione urbana e lo sviluppo di applicazioni. Quest'ultimo approccio comporta costi e rischi aggiuntivi, ma consente una maggiore flessibilità nello sviluppo futuro dell'infrastruttura e dei suoi usi.

Nel complesso, le analisi suggeriscono che il significato di sistemi di telecontrollo per l'illuminazione pubblica tra i vari protagonisti della partita non è omogeneamente condiviso. I membri dell'industria dell'illuminazione professionale, in generale, riconoscono la necessità di una più ampia gamma di applicazioni in futuro; però, la loro visione è ancora fortemente incentrata sulla luce, limitando la loro esplorazione dei lampioni come piattaforme da cui raccogliere dati. Le città, d'altra parte, stanno adottando principalmente un

approccio opportunistico sviluppando gradualmente soluzioni ad hoc ai problemi ma con strategie diverse in termini di standardizzazione e integrazione tecnologica. Nel frattempo, le aziende che sviluppano strategie di mercato più ampie per le città intelligenti mostrano una comprensione più profonda dell'opportunità di avere la proprietà dei dati. Di conseguenza, pensano che i lampioni dovrebbero diventare standardizzati per essere piattaforme di generazione di dati per le città, consentendo lo sviluppo di un numero maggiore di servizi e vedere le nuove intuizioni della ricerca dai fenomeni urbani come la loro naturale evoluzione.

In generale, c'è dunque un desiderio limitato di trascendere la funzione centrale dell'illuminazione. C'è una cauta volontà di esplorare il potenziale dei futuri lampioni come fornitori di dati, fintanto che le funzioni dei dati sono limitate principalmente ai feedback sulle luci stesse, o altri usi che possono dimostrare un valore immediato per la città.

Tutte le categorie coinvolte hanno sottolineato la necessità di affrontare i problemi di privacy dei sistemi di telecontrollo che insieme all'intera infrastruttura dedita all'illuminazione pubblica potrebbero fungere da reti di sensori distribuiti su larga scala, nonché la relativa gestione dei dati sensibili che potrebbero raccogliere. I dati raccolti da sensori, come quelli derivanti da telecamere o microfoni, sono contemporaneamente utili per applicazioni come il monitoraggio del traffico, parcheggi, sicurezza pubblica o inquinamento acustico; tuttavia, sia i dati video che audio possono contenere elementi che i cittadini potrebbero trovare invadenti, come caratteristiche personali nei dati video, che possono essere utilizzati per l'identificazione di persone o tracce audio di conversazioni personali, che potrebbero essere analizzate ed ascoltate. La privacy è percepita come una preoccupazione fondamentale in grado di far deragliare o limitare la portata e la portata di un'iniziativa di illuminazione intelligente.

Tuttavia, molti operatori del settore hanno menzionato due strategie per creare fiducia e accettazione: Trasparenza e erogazione dei

servizi. È stato rivelato infatti che c'è una generale mancanza di comprensione per quanto riguarda il potenziale delle tecnologie dei sistemi di telecontrollo per l'illuminazione pubblica, ma aprendo un dialogo con i cittadini per spiegare chiaramente quali dati vengono raccolti e gli usi previsti, sono di grande aiuto per rimuovere le ansie e le preoccupazioni del pubblico. La trasparenza serve come chiave per evitare potenziali conflitti. Le complessità legali alla base della privacy ostacolano anche lo sviluppo dei sistemi di telecontrollo per l'illuminazione pubblica come piattaforme di sviluppo aperte. Il GDPR dell'Unione Europea (General Data Protection Rule) stabilisce linee guida in merito alle tutele della privacy personale e della trasparenza sulla raccolta dei dati. Qualsiasi città che distribuisce sistemi che raccolgono dati con caratteristiche personali identificabili affrontano un potenziale campo minato di responsabilità legali. La presenza dei lampioni come potenziali raccoglitori di dati nelle città crea un contesto dove il rischio che ciò accada è molto alto, quindi le città dovrebbero spendere un budget notevole per rendere anonimi tutti i dati raccolti, imporre limiti normativi all'utilizzo di sensori che potrebbero essere considerati invadenti, oltre all'accesso ai dati che essi stessi producono, limitando le possibilità di partecipazione pubblica su queste piattaforme. Per molti tipi di dati invasivi per la privacy, le vulnerabilità e le normative sono di fatto così stringenti che spesso gli stakeholder preferiscono non avere alcun coinvolgimento.

Esistono anche lacune riguardo a chi può rivendicare la proprietà dei dati creati dai sistemi di illuminazione stradale intelligenti. Le città regolano l'accesso ai dati creati direttamente dalle piattaforme cittadine e addirittura mettono in atto procedure volte a limitare l'accedere a dati grezzi prodotti da particolari sensori come le videocamere, ma la natura delle tecnologie digitali rende molto difficile controllare efficacemente l'uso e l'abuso dei dati una volta che sono stati elaborati attraverso un sistema privato come quello di un fornitore, ove se non limitato da clausole contrattuali, anche i dati, e relativi sottoprodotti algoritmici possono essere considerati asset d'impresa, privatizzando di fatto un bene pubblico.

Definire la proprietà dei dati e dei sottoprodotti algoritmici è importante perché i dati raccolti da un sistema urbano su larga scala e altamente denso come i lampioni possono essere utilizzati e ricombinati con altri set di dati per creare nuove applicazioni e servizi, quindi andando oltre l'intento originale per il quale i dati sono stati raccolti. In questo senso, detti dati possono continuare a essere un potenziale generatore di valore sia per le città che per gli stakeholder privati, rendendo cruciale la necessità di chiarire le nozioni di proprietà. Le aziende del settore affermano che ci devono essere modi per creare condizioni di trasparenza e fiducia nella gestione, nell'uso e nella conformità legale dei dati, e propongono approcci tecnologici e istituzionali per far sì che ciò avvenga. Alcune aziende hanno sviluppato standard aperti e piattaforme dati associate ai loro prodotti e i rappresentanti sottolineano che la proprietà dei dati e il relativo controllo è mantenuto dalle città. Altre aziende invece affermano che a causa della natura dei dati, la soluzione a questa sfida non può essere implementata solo da un punto di vista tecnologico, ma richiede anche disposizioni istituzionali per salvaguardare l'uso corretto dei dati

Un approccio popolare con le città sono le piattaforme open-data, spesso richieste dalle leggi di trasparenza e dove i dati pubblici risiedono in server aperti a tutti. In linea di principio, niente suona più equo che restituire i dati alle persone, ma nella maggior parte dei casi i dati accessibili non sono ad esempio in tempo reale, o molto vecchi, quindi l'utilizzo dal punto di vista urbano è limitato. È importante sottolineare che avere una piattaforma open data è meglio che non fornire alcun dato al pubblico, ma sarebbe ingenuo pensare che tutti ne traggano ugualmente beneficio dal momento che la complessità e i requisiti di capitale necessari per rendere i dati produttivi, sono fuori dalla portata di molti cittadini. Pertanto, "aperto" non equivale completamente a "equo".

Tutto questo suggerisce che ciò che minaccia di impedire il corretto sviluppo dei sistemi di telecontrollo per l'illuminazione pubblica nelle città non è un problema tecnologico, ma sociale ed economico,

con il vero inibitore della loro evoluzione che è la sfiducia nell'attuale capacità istituzionale dell'organizzazione di mediare responsabilmente i bisogni e le preoccupazioni della società con le possibilità e i costi delle tecnologie digitali. Ci sono molte soluzioni e standard tecnici già sviluppati che potrebbero far ripartire il processo e contribuire a potenziare un ecosistema di sviluppo di applicazioni utili alle città. Ma come sottolineato da alcuni autori, la semplice presenza di nuove tecnologie non aumenta necessariamente la partecipazione sociale e non produce equità sociale, poiché gruppi specifici possono sempre tentare di esercitare il controllo politico su di loro.

Le città e l'industria del settore sono entrambe consapevoli del valore che i sistemi di telecontrollo per l'illuminazione pubblica potrebbero creare per le città, ma stanno anche lottando per venire a patti con il significato e le implicazioni di questo nuovo sistema. L'istinto naturale delle istituzioni è essere avversi al rischio ed esplorare entro i limiti consentiti dalle loro norme e regolamenti e questo limita la capacità delle città di rispondere alla velocità richiesta dalla evoluzione tecnologica e crea il rischio di rimanere indietro. I lampioni sono ovunque nelle nostre città; pertanto, detengono un potenziale valore derivato dal contenuto informativo dell'ambiente circostante, con tutti gli esseri umani e l'attività non umana che vi accade. La proposta centrale dietro i sistemi di telecontrollo è sfruttare quel valore latente sfruttando le tecnologie digitali montate sui lampioni per estrarre i dati in situ, che devono quindi essere elaborati, distribuiti e utilizzati da un ecosistema di applicazioni e servizi. Se fino ad ora la principale proposta di valore dei lampioni tradizionali è stata illuminare le strade, in futuro il valore fondamentale saranno i dati.

## 8. Sistemi di telecontrollo in via di sviluppo

In questi anni la sensibilità nei confronti dell'ambiente e di conseguenza i temi legati al risparmio energetico e all'impatto ambientale dell'uomo sulla terra sono cresciuti esponenzialmente e non sono più argomenti in secondo piano nello sviluppo tecnologico.

I sistemi di telegestione e telecontrollo dell'illuminazione pubblica non sono ovviamente immuni a tutto ciò. Si stima infatti che l'illuminazione stradale può impattare fino al 53% sul consumo energetico di una città che tipicamente è il 35-45% del budget delle utenze di un comune. Secondo l'Agenzia Internazionale dell'Energia, la domanda complessiva di illuminazione sarà dell'80% superiore nel 2030 rispetto al 2005. Si prevede che 5 miliardi di persone (circa il 60% della popolazione mondiale), vivrà nelle città entro il 2050, dunque il consumo di energia derivante dall'illuminazione stradale sarà una quota sempre più significativa del consumo energetico delle città e un onere crescente per i bilanci municipali. I sistemi di illuminazione stradale convenzionali che sono attualmente ancora prevalenti nei paesi in via di sviluppo soffrono di alti consumi di elettricità a causa di una progettazione inefficiente e causano elevati problemi ambientali. Molti impianti di illuminazione stradale esistenti in questi paesi hanno consumi di energia e costi di manutenzione elevati rispetto a sistemi più efficienti dal punto di vista energetico utilizzati nei paesi più sviluppati. I sistemi funzionano ancora in base a interruttori ON/OFF o su sensori temporizzati per automatizzare le operazioni di commutazione. Perciò, la riduzione del consumo di energia e minimizzazione dei costi di manutenzione diventano le considerazioni primarie la progettazione dell'impianto di illuminazione stradale.

In base a queste considerazioni si stanno sviluppando diversi progetti che percorrono strade diverse per arrivare allo stesso obiettivo.

### 8.1. Sistema di telecontrollo basato sulle condizioni ambientali

Il contributo chiave del progetto che segue è il design e lo sviluppo di un sistema di illuminazione stradale intelligente basato su una rete di sensori wireless (WSN) che garantisce efficienza energetica, facilità d'uso e riduzione dei costi. Il sistema di illuminazione stradale in questo progetto richiede un meccanismo di controllo in tempo reale in considerazione della condizione ambientale. Ad esempio, i lampioni si spegnerebbero durante il giorno ma possono essere accesi con tempo nuvoloso a bassa intensità luminosa per garantire la sicurezza degli utenti della strada. L'illuminazione stradale nelle ore notturne invece, opera attraverso la gestione dell'ora in combinazione con i diversi livelli di intensità del traffico. Inoltre, un rilevatore di movimento viene utilizzato per rilevare il traffico pedonale o il passaggio dei veicoli nel meccanismo di controllo per adattarsi e controllare il consumo di energia senza compromettere la sicurezza stradale. In questo sistema, l'uso di LED ad alta efficienza energetica e il controllo adattativo del livello di illuminazione da parte del segnale PWM (Pulse Width Modulation) assicura efficienza energetica. La sorgente luminosa a LED è a bassa energia consumo e lunga durata. In questo progetto, il I moduli wireless nRF24L01 di Nordic vengono utilizzati per l'implementazione di WSN. L'ATMEGA 328P è il microcontrollore che viene utilizzato come processore centrale per elaborare i parametri ambientali dei sensori e controllare di conseguenza i parametri di uscita. I sensori includono i sensori di movimento, sensori di pioggia, Light- sensori Dependent-Resistant (LDR) e sensori di corrente.

La topologia mesh di WSN offre la flessibilità dell'autoformatura e caratteristiche di autoguarigione. La figura seguente illustra il layout del design della comunicazione WSN del sistema di illuminazione stradale proposto.

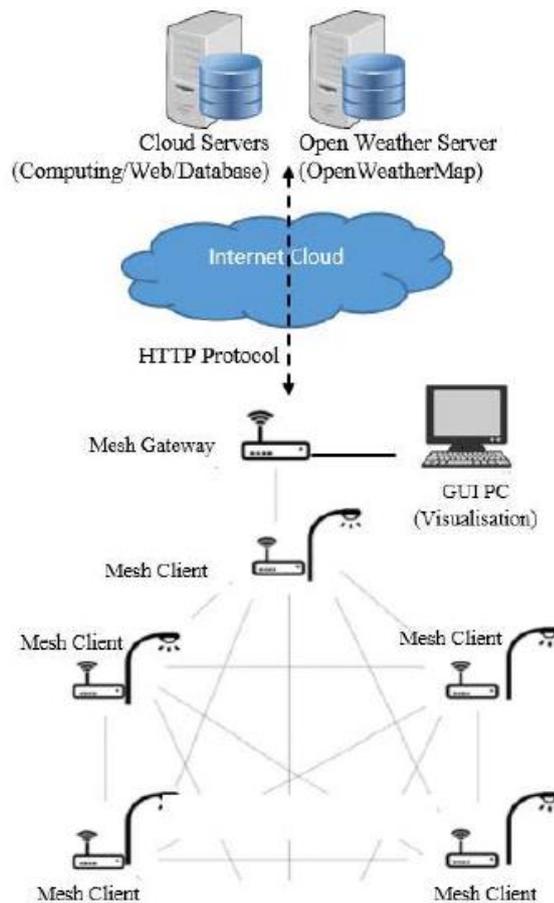


Figura 32

La topologia è composta da client mesh, un master mesh (gateway), un computer per il monitoraggio (GUI PC) e i server cloud collegati Internet tramite il protocollo di trasferimento ipertestuale (HTTP). I client mesh servono per acquisire dati ambientali quali illuminazione, meteorologia e condizioni del traffico. Al ricevimento dei dati, i client mesh trasmettono i dati al master mesh tramite il designato percorso di rete. Ogni nodo ha un indirizzo univoco per identificazione. Se uno dei nodi non funziona, i dati passeranno attraverso un altro percorso, attraverso diversi nodi fino a raggiungere il ricevitore. Il master mesh riceve i dati dai nodi identificati e li carica sui server cloud per l'archiviazione dei dati e la

manipolazione degli stessi. Il server dispone anche di una Web-based GUI e API OpenWeatherMap per acquisire dati meteorologici per il controllo del livello di illuminazione dell'illuminazione stradale

I nodi sono identificati con le loro identificazioni di nodo (ID) e interconnessi alla topologia della rete mesh. Ogni client mesh deve acquisire dati ambientali ed eseguire il controllo dell'illuminazione. I dati amalgamati di illuminazione, pioggia e moto i dati vengono inoltrati al nodo principale della mesh per il caricamento ai server cloud. In cambio, un segnale di controllo nella forma del ciclo di lavoro PWM viene ritrasmesso al client mesh tramite il master mesh per il controllo dell'illuminazione. L'illuminazione il livello è attivato dal segnale PWM che di conseguenza controlla la commutazione dei dispositivi di controllo. Tutti i dati da sensori di ingresso e informazioni di controllo possono essere visualizzato sulla GUI del computer.

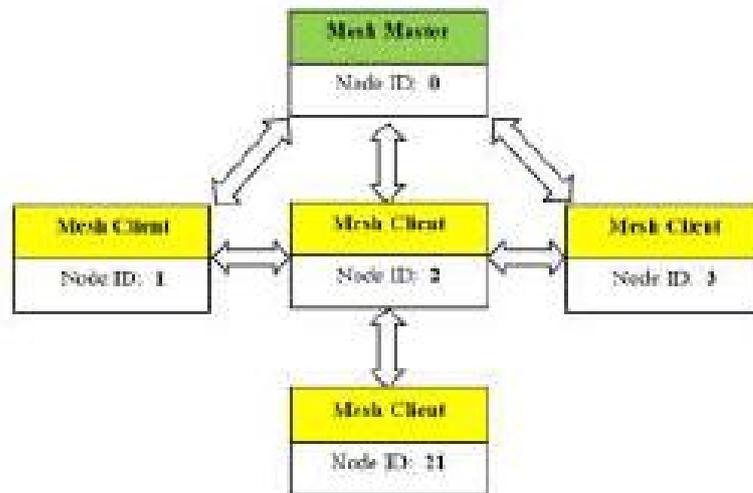


Figura 33

La Figura seguente mostra il progetto del nodo client mesh. Il microcontrollore è implementato per controllare le periferiche di input e output. Un modulo wireless viene utilizzato per formare la

rete mesh che collega i nodi master e client. I sensori collegati alle porte del microcontrollore includono sensori LDR, sensori di corrente, sensori di movimento e sensori pioggia. D'altra parte, il segnale di controllo PWM utilizzato per controllare il livello di illuminazione della strada è manipolato in base all'algoritmo di controllo.

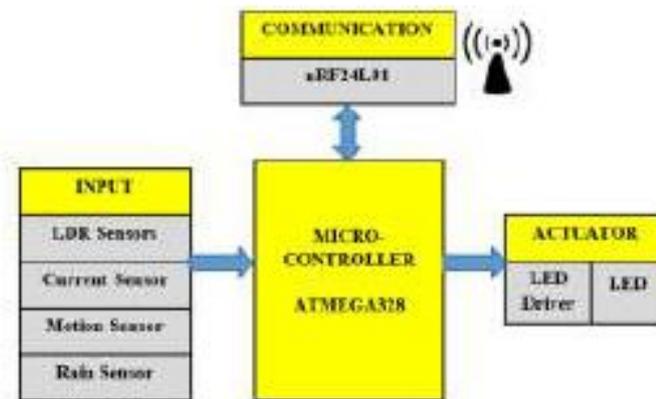


Figura 34

Il progetto del nodo principale della mesh è invece mostrato nella prossima figura. Il modulo orologio in tempo reale nel nodo fornisce al microcontrollore informazioni in tempo reale di ora e data. Il modulo wireless viene utilizzato per collegare la rete mesh al server per la comunicazione dei dati. I client mesh, in cambio, ricevono il segnale di controllo di livello di illuminazione manipolato dai server cloud. In sintesi, il livello di illuminazione dei lampioni è attento all'ambiente, tenendo in considerazione i vari dati dei sensori di movimento, meteorologici e di luce ambientale. Il livello di illuminazione è controllato dal Segnale di controllo PWM generato da un algoritmo di controllo, in questo modo il livello di illuminazione viene regolato in modo adattativo, con l'effettiva esigenza dell'ambiente che a sua volta ottimizza il consumo energetico del sistema di illuminazione stradale.

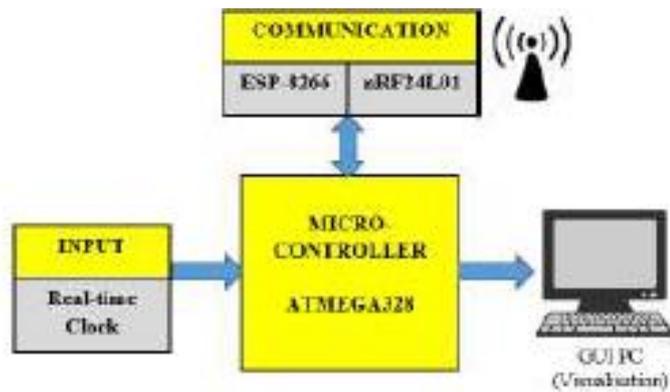


Figura 35

Inoltre, la GUI del computer di gestione funge da piattaforma per un più facile monitoraggio e controllo del sistema proposto. L'operatore può monitorare il sistema di illuminazione stradale in tempo reale. La condizione di ogni strada viene visualizzata visivamente sul terminale. Le luci difettose possono essere rilevate automaticamente e l'operatore del sito sarà avvisato per ottenere una manutenzione immediata, riducendo il tempo di inattività.

Il livello di illuminazione dei lampioni è regolato automaticamente secondo un nuovo meccanismo di controllo, come illustrato nella figura seguente.

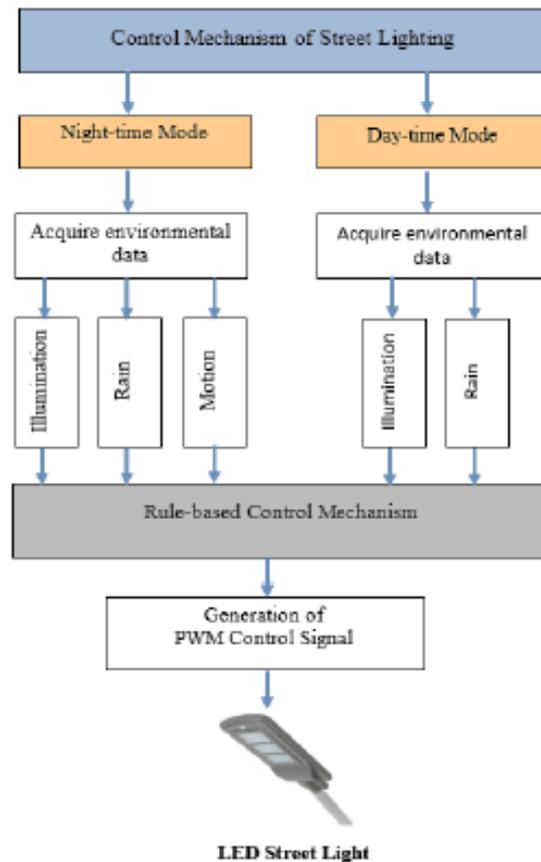


Figura 36

Il sistema è "intelligente" in termini della capacità di controllare l'illuminazione in entrambi Modalità notturna (modalità di risparmio energetico) o Modalità diurna. Quando il sistema entra in modalità Giorno dalle 6:00 alle 18:00, in genere spegne tutti i lampioni. Tuttavia, per motivi di sicurezza, il sistema può rilevare le condizioni meteorologiche e accendere i lampioni quando l'intensità della luce ambientale è bassa durante la condizione nuvolosa o durante la pioggia. Al contrario, durante il periodo tra le 18:00 e le 6:00, il sistema entra in modalità Notte dove entrerà in funzione il meccanismo di risparmio energetico regolare del livello di illuminazione per il raggiungimento del massimo risparmio energetico. Come mostrato nella Tabella 1, il livello di illuminazione (Lux) è assegnato all'intensità della luce (in termini di %) di

conseguenza, per il meccanismo di controllo. La tabella 2 mostra le impostazioni iniziali dell'intensità luminosa.

Table 1: Designation of the illumination level with varying light intensity (in %)

<b>Illumination (in Lux)</b>	<b>Light Intensity (in %)</b>
<100	50%
>300	40%
>500	30%
>700	20%
>1000	0

Table 2: Initial Setting of the Light Intensity

<b>Time</b>	<b>LED Status</b>	<b>Light Intensity (in %)</b>
6am-6pm	OFF	0%
6pm-7pm	ON	20%
7pm-10pm	ON	100%
10pm-11pm	ON	70%
11pm-12am	ON	50%
12am-4am	ON	20%
4am-6am	ON	50%

Come mostrato nella Tabella 2, il livello di illuminazione è impostato su un livello minimo del 20% senza lo spegnimento completo, dovuto al regolamento di sicurezza impostato. Agendo sul meccanismo di controllo, è possibile regolare l'impostazione dell'illuminazione automaticamente al livello ottimale in correlazione alle condizioni del traffico e alle condizioni meteorologiche. Per esempio, quando le condizioni del traffico sono scarse, l'illuminazione è ridotta in modo adattivo al livello ottimale di conservazione dell'energia. In condizioni di traffico intenso o gravi condizioni ambientali come durante la pioggia battente, l'illuminazione viene ripristinata al livello normale per motivi di sicurezza. Durante il giorno, il sensore LDR e le informazioni sulla pioggia vengono utilizzati per rilevare le condizioni ambientali come l'illuminazione e le condizioni atmosferiche. Nella notte, le

informazioni meteo e i dati del sensore di movimento sono utilizzati per rilevare il traffico e per il controllo adattativo.

Il sistema di gestione delle risorse per l'illuminazione stradale proposto può eseguire la manutenzione intelligente del sistema lampione. È dotato di rilevamento automatico e diagnostica della lampada a LED contro l'invecchiamento e rileva le condizioni di guasto utilizzando un meccanismo di rilevamento degli errori basato su un algoritmo di controllo come mostrato in figura.

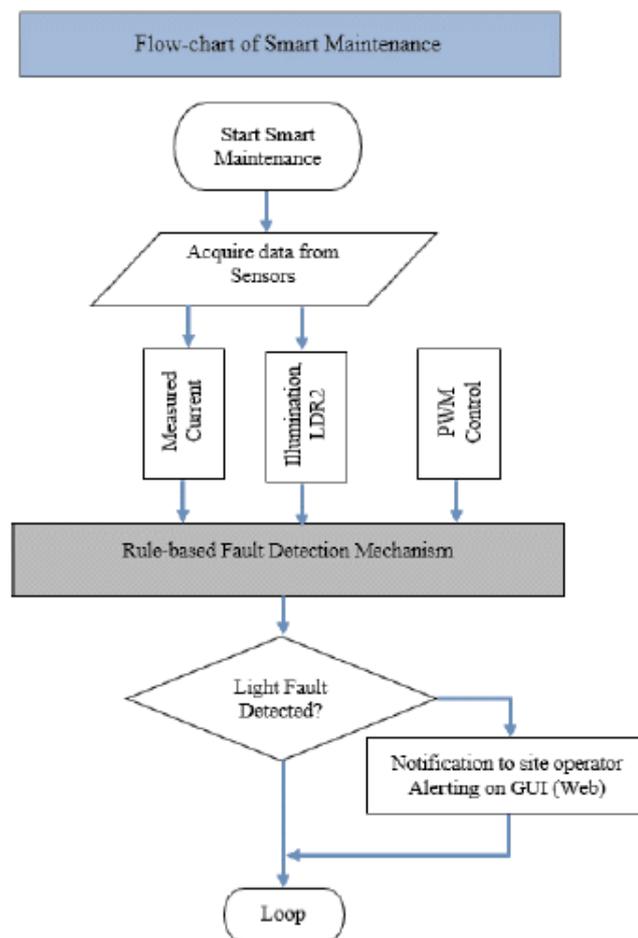


Figura 37

Per il rilevamento di lampade a LED difettose, sia i dati del sensore LDR sia quelli del sensore di corrente vengono utilizzati per la diagnosi della condizione operativa dei lampioni. Supponendo che la spia LED specifica è impostata sullo stato ON con l'LDR il sensore mostra una bassa intensità luminosa o nessuna corrente rilevata, condizione della lampada normale, vecchia o difettosa si può dedurre lo stato. In caso di rilevamento di una qualsiasi illuminazione difettosa, il sistema mostrerà delle notifiche accese sull'interfaccia utente per la visualizzazione degli stessi e per un intervento immediato degli operatori.

### 8.1.1. Analisi Risultati

La figura seguente mostra la luminosità della lampada rispetto al tempo (in slot di 15 minuti) di un caso di studio a Jalan Wawasan, vicino University College of Technology Sarawak (UCTS), Sib.

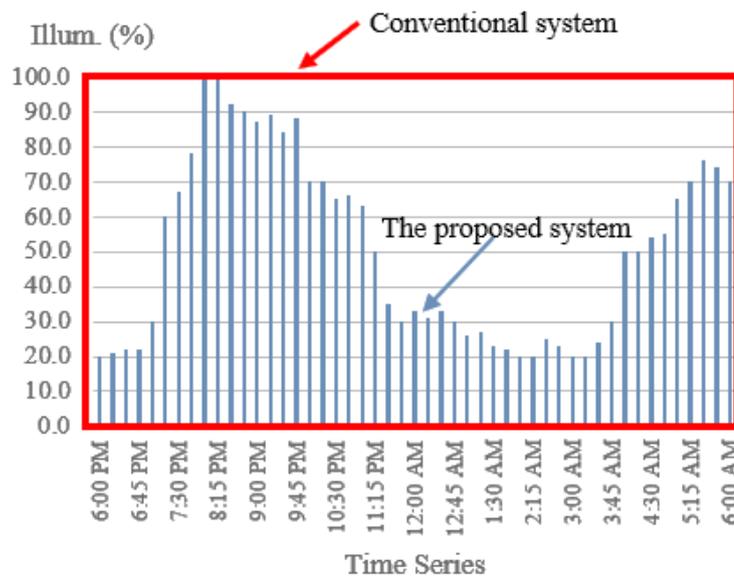


Figura 38

La potenza nominale è impostata in modo adattativo in base a Modalità notturna dalle 18:00 alle 6:00 per dimostrare l'effettivo risparmio energetico. La condizione di traffico dalle 18:00 alle 19:00 è relativamente bassa rispetto al traffico dalle 19:00 alle 22:00. Poi il traffico diminuisce gradualmente dalle 22:00 all'01:00 e rimane quasi lo stesso per le prime ore del mattino. Il tempo è sereno. L'energia consumata dalla lampada a LED è di 6 watt, forniti da 5 volt corrente continua (DC). C'è un totale di 72,0 Wh di consumo di energia per il caso di un normale impianto di illuminazione stradale per 12 ore. Al contrario, come illustrato nella tabella sotto, si rileva che il sistema di illuminazione stradale intelligente proposto, realizza fino al 48,43% di risparmio energetico con l'algoritmo di controllo implementato.

Time	Illum. (in %)	Energy Cons. (Wh)	Energy Saving (Wh)
6:00 PM	20.0	0.30	1.20
6:15 PM	21.0	0.32	1.19
6:30 PM	22.0	0.33	1.17
6:45 PM	22.0	0.33	1.17
:	:	:	:
5:15 AM	77.0	1.16	0.35
5:30 AM	76.0	1.14	0.36
5:45 AM	74.0	1.11	0.39
6:00 AM	70.0	1.05	0.45
<b>Total</b>		<b>37.9 Wh</b>	<b>35.6 Wh</b>

Figura 39

## 8.2. Sistema di telecontrollo in funzione degli utenti

Un altro studio basa la gestione dell'illuminazione stradale sul rilevamento dei singoli utenti della strada, sul riconoscimento delle loro esigenze di illuminazione e la regolazione dello stato di funzionamento della singola illuminazione dispositivi che compongono il sistema alle aspettative di ciascun utente. La qualità del funzionamento del sistema dipende principalmente dalla qualità del rilevamento di ogni singolo utente, dall'accuratezza nella determinazione dei loro bisogni e dall'adeguata diffusione della raccolta di informazioni tra tutti gli elementi del sistema. La qualità del rilevamento degli utenti dipende dal sistema di diversi sensori utilizzato. Il sistema di illuminazione è stato realizzato in base ai requisiti di illuminazione e al metodo di progettazione dell'illuminazione stradale utilizzato in Europa. Le esigenze di illuminazione delle persone che svolgono varie attività negli spazi aperti pubblici sono state accuratamente identificati e descritti dalle disposizioni della norma pertinente.

Le soluzioni che fino a poco tempo fa sono state utilizzate per controllare gli apparecchi di illuminazione in simultanea, assumono il controllo di interi apparecchi senza la possibilità di dividere i lampioni in sezioni indipendenti. Insieme al movimento dell'utente, i singoli apparecchi di illuminazione sono accesi quando l'utente si avvicina o sono spente e disattivate quando l'utente si sposta lontano. Il numero di apparecchi accesi dipende dal tipo di utenza (pedone, ciclista, auto conducente), la loro velocità e le impostazioni di sistema predefinite risultanti dalla posizione dei singoli punti luce della zona. Va ricordato che l'utente deve essere rilevato in anticipo in modo che il sistema possa reagire in modo tempestivo. Per questo motivo, è molto importante trasmettere informazioni sulla posizione attuale dell'individuo tra sensori e apparecchi di illuminazione, posti talvolta a notevole distanza l'un l'altro.

Il sistema è in grado di regolare quei parametri che influenzano il comportamento del sistema, come la distanza massima tra due utenti che causa l'accensione di tutti gli apparecchi di illuminazione tra di

loro, la lunghezza del tratto stradale illuminato davanti e dietro l'utente e la velocità degli apparecchi che si accendono e si attenuano. Questi parametri causano comportamenti diversi delle diverse applicazioni del sistema, soprattutto in presenza di due o più utenti.

Il vantaggio di un sistema simultaneo rispetto ad altri sistemi di controllo dell'illuminazione è che esso fornisce le stesse condizioni di illuminazione a tutti gli utenti, indipendentemente dall'ora in cui si spostano lungo la strada. I sistemi di regolazione hanno lo svantaggio di fornire molta più luce per gli utenti nei momenti in cui c'è più traffico, ovvero soddisfano le loro esigenze a un livello superiore rispetto agli utenti che compaiono nei momenti in cui l'intensità del traffico diminuisce notevolmente. Nella pratica, i sistemi di regolazione della luminosità degli apparecchi discriminano gli utenti che sono in minoranza. Un sistema di illuminazione simultaneo potrebbe essere combinato con l'idea di attenuare l'illuminazione quando l'intensità del traffico diminuisce per introdurre un ulteriore risparmio energetico, ma un'idea del genere contrasta con l'idea di trattare tutti gli utenti allo stesso modo.

A causa della dinamica del sistema, non è possibile utilizzare questo sistema di controllo ovunque. L'apparecchio di illuminazione selezionato nel sistema è controllato non solo dal segnale del sensore posto al suo interno ma reagisce anche alle informazioni inviate dagli apparecchi di illuminazione vicini, alcuni dei quali potrebbero esserlo a diverse centinaia di metri di distanza. Pertanto, è necessario introdurre zone di rilevamento di un utente in avvicinamento alla periferia dell'area coperta dal sistema. In particolare, è necessario prestare attenzione alle zone di "rincorsa" all'inizio dei tratti stradali dove viene applicato il sistema. Tale sezione deve avere una lunghezza non inferiore a quella tipica distanza di osservazione della strada da parte del conducente, che è di almeno 60–100 m. Per questo motivo, si presume che la lunghezza di un tratto stradale coperto dal sistema, per avere un senso, non dovrebbe essere inferiore a 1 km.

Un'altra limitazione all'applicabilità del sistema è l'ansia che potrebbe causare a dei potenziali osservatori laterali. Pertanto, il sistema non dovrebbe essere utilizzato per le strade adiacente a

edifici residenziali. Tra il tratto di strada illuminato da un sistema di illuminazione simultaneo e gli edifici residenziali, dovrebbe esserci un impedimento che limita l'impatto negativo del funzionamento del sistema sul benessere dei residenti. Tali impedimenti possono includere un'adeguata distanza fisica tra il sistema di illuminazione concorrenziale ed edifici residenziali, una fascia di verde medio e alto, o altro percorso di traffico costantemente illuminato. Secondo le indagini condotte, l'illuminazione di questo tipo è accettabile sulle strade direttamente adiacenti agli edifici residenziali solo a condizione che il traffico praticamente cessi di esistere nelle ore notturne. Inoltre, richiede un'attenta selezione della distribuzione del flusso luminoso da parte degli apparecchi utilizzati. Il terzo fattore che limita l'applicabilità del sistema è l'avere elevati livelli di traffico su una determinata strada 24 ore su 24, anche a tarda notte. Nel caso di tali strade, l'installazione del sistema non porterà benefici tangibili. Gli apparecchi, nonostante gli algoritmi di rilevamento e controllo dell'utente, funzioneranno continuamente e alla massima potenza per la maggior parte del tempo, con solo piccole interruzioni che si verificano durante le fluttuazioni del traffico.

Gli effetti energetici dei sistemi di illuminazione simultanei dipendono dalla densità del traffico all'interno l'area coperta dal sistema di controllo, dalla sincronizzazione degli utenti, dal livello di calcolo di illuminazione a piena potenza di tutti gli apparecchi di illuminazione e dal livello a cui l'illuminazione è ridotta quando non ci sono utenti nel raggio di illuminazione fornito dall'apparecchio.

Un'intensità di traffico inferiore durante il funzionamento del dispositivo di illuminazione provoca di conseguenza pause prolungate nell'illuminazione degli apparecchi. Il frequente verificarsi di tali interruzioni e la loro lunga durata riduce notevolmente il consumo di energia il sistema di illuminazione controllato con l'uso di tale metodo. Allo stesso modo, il raggruppamento di più utenti che si muovono nella stessa direzione a una velocità simile significa che un unico apparecchio serve contemporaneamente a soddisfare le condizioni di illuminazione dedicate a più utenti. Il raggruppamento di utenti a un determinato livello di traffico si traduce in intervalli di illuminazione più lunghi

tra i gruppi successivi. Maggiore è la distanza richiesta della strada illuminata davanti all'utente, più efficace è l'effetto di raggruppamento.

Un altro fattore che riduce l'effetto di risparmio energetico è la presenza di oggetti che richiedono permanente illuminazione sulla strada, come gli incroci stradali

L'illuminazione stradale viene utilizzata per garantire condizioni di visione adeguate alle persone che utilizzano le strade. La progettazione nel cosiddetto processo di progettazione multi-criterio tiene conto anche di altri fattori come il consumo di elettricità e, indirettamente, l'inquinamento ambientale dovuto alle emissioni di CO<sub>2</sub> nell'atmosfera e anche l'inquinamento luminoso dell'ambiente; tuttavia, i bisogni degli utenti sono fondamentali. Una buona progettazione illuminotecnica richiede il rispetto di criteri di base legati al comfort visivo degli utenti, con il minor impatto negativo possibile del dispositivo di illuminazione sull'ambiente.

Utenti non motorizzati, come pedoni e ciclisti hanno bisogno dell'illuminazione per l'orientamento generale e per riconoscere direttamente un fondo stradale irregolare davanti a loro per potersi muovere in sicurezza in modo stabile, e per informazioni sulla posizione (avvicinamento) di altre persone o veicoli. Per questo motivo hanno bisogno un ambiente circostante ben illuminato, un'illuminazione leggermente più debole dell'ambiente circostante e un'indicazione della posizione di altre persone e animali nell'area. Un fattore importante per le persone non motorizzate è quello di consentire loro di riconoscere il volto della persona che incontrano. I requisiti di illuminazione per questo tipo di utenza sono definiti dal livello di illuminamento a livello del suolo e da un livello di illuminamento semicilindrico a altezza del viso. L'illuminazione dovrebbe essere non direzionale e raggiungere l'oggetto illuminato da a minimo di due direzioni.

Gli automobilisti generalmente si muovono in due direzioni opposte e hanno bisogno di illuminazione per identificarsi possibili ostacoli e

per identificare altri utenti del traffico. A causa delle proprietà riflettenti delle superfici stradali, l'illuminazione è progettata per ottenere un contrasto negativo. In questo caso, è estremamente importante ottenere un adeguato livello e uniformità della luminanza della pavimentazione. Un'analisi dettagliata dell'influenza del flusso luminoso sulla distribuzione della luminanza del pavimento mostra che i flussi luminosi diretti allo stesso modo del punto di vista dell'osservatore hanno un effetto insignificante, praticamente trascurabile, nel creare la distribuzione di luminanza desiderata del manto stradale. Gli oggetti che si trovano al di fuori dell'area della strada, ma nelle immediate vicinanze, dovrebbero essere visibili ai conducenti in contrasto positivo, cioè come punti luminosi, visibili contro il buio del ciglio della strada. Praticamente tutta la luminanza del segmento stradale si trova tra due lampioni adiacenti, si origina dall'apparecchio di illuminazione posto all'estremità di quel segmento. Il lampione posto all'inizio di tale tratto è rilevante solo per la piccola zona iniziale di quella sezione, situata direttamente sotto il lampione. La dimensione di questa zona dipende dalle proprietà riflettenti del materiale di pavimentazione e, naturalmente, dal posizionamento degli apparecchi lungo la strada.

Distribuzioni tipiche e simmetriche degli apparecchi comunemente usati per illuminare le strade, come mostrato in Figura 40, sono state confrontate con le distribuzioni di apparecchi non simmetrici, per soddisfare le distribuzioni di luminanza richieste dal punto di osservazione di solo uno dei due tipici osservatori, cioè quelli che provengono solo da un lato della strada, come mostrato nella Figura 41.

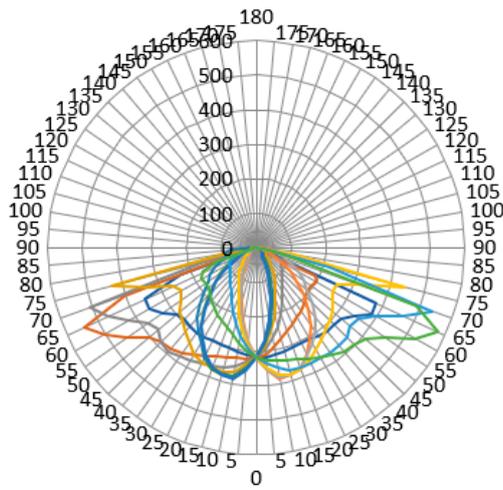


Figura 40

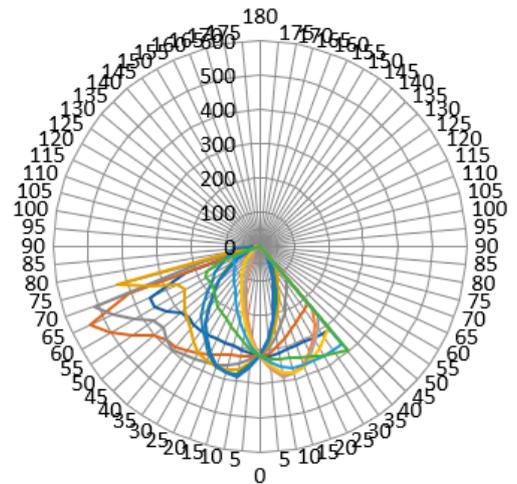
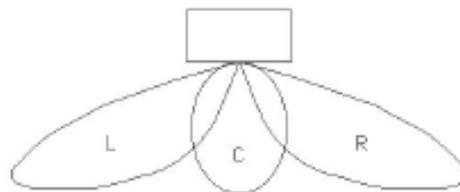


Figura 41

Per confronto, sono state scelte le distribuzioni di entrambe le tipologie di apparecchi di illuminazione, la cui collocazione ne ha consentito il rispetto degli stessi requisiti di illuminazione. Il corso delle curve di luce di entrambi i tipi di apparecchi di illuminazione nella loro parte considerevole si sovrappongono. La principale differenza delle curve si osserva nella parte che serve all'apparecchio asimmetrico per produrre la distribuzione di luminanza richiesta dal punto di vista del secondo osservatore. La differenza di flusso luminoso tra le due distribuzioni è tipicamente di circa 30% maggiore nell'apparecchio simmetrico rispetto all'apparecchio asimmetrico. Utilizzando la relazione tra apparecchi asimmetrici e non simmetrici descritti sopra, è possibile concettualizzare un apparecchio simmetrico, che, per utenti individuali, si comporteranno come un apparecchio asimmetrico, generando lo stesso flusso luminoso e anche un risparmio di energia elettrica. Tale apparecchio dovrebbe avere una distribuzione di flusso luminoso variabile che si adatta alle esigenze degli utenti. Quando un utente si avvicina da sinistra o destra, l'apparecchio dovrebbe generare una distribuzione non simmetrica verso l'utente. Quando due o più utenti si avvicinano da entrambi i lati, l'apparecchio dovrebbe generare una distribuzione simmetrica.

L'unità di illuminazione dell'apparecchio, la cui sorgente luminosa è un insieme di LED, è stato divisa in tre parti controllate in modo indipendente che emettono flussi luminosi simili, ma ciascuno con una distribuzione completamente diversa, contrassegnati con sinistra (L), centrale (C) e destra (R), come mostrato in figura.



*Figura 42*

Le distribuzioni delle parti sinistra e destra sono reciprocamente simmetriche. Tutte e tre le parti dell'apparecchio illuminate allo stesso tempo realizzano la piena distribuzione luminosa, caratteristica degli apparecchi per illuminazione stradale, e soddisfano i requisiti di illuminazione per tutti gli utenti del traffico.

La parte sinistra e quella centrale illuminate insieme, con la parte destra spenta, realizzano una distribuzione asimmetrica, che consente di soddisfare i criteri per i requisiti di illuminazione utenti che si avvicinano dal lato sinistro. La parte destra e quella centrale illuminate insieme, con la sinistra parte spenta, rendono la distribuzione non simmetrica, permettendo di soddisfare l'illuminazione requisiti per gli utenti che si avvicinano da destra.

È necessario determinare la distribuzione del flusso luminoso prevista delle parti sinistra o destra, come la differenza tra la distribuzione del flusso simmetrico e del non simmetrico, rispettivamente, soddisfacendo i requisiti di illuminazione per un

osservatore a destra o a sinistra dell'apparecchio, quando gli apparecchi sono distanziati nello stesso modo.

La distribuzione attesa della parte centrale può essere calcolata determinando preliminarmente le distribuzioni delle parti laterali, sinistra e destra, e sottraendole dalla distribuzione dell'apparecchio simmetrico. Come risultato di tali operazioni, otteniamo due distribuzioni luminose reciprocamente simmetriche delle parti laterali dell'apparecchio, orientate in modo abbastanza stretto rispettivamente sul lato sinistro e destro, e la distribuzione della luce della parte centrale, illuminando l'area situata direttamente sotto l'apparecchio di illuminazione e il ciglio della strada

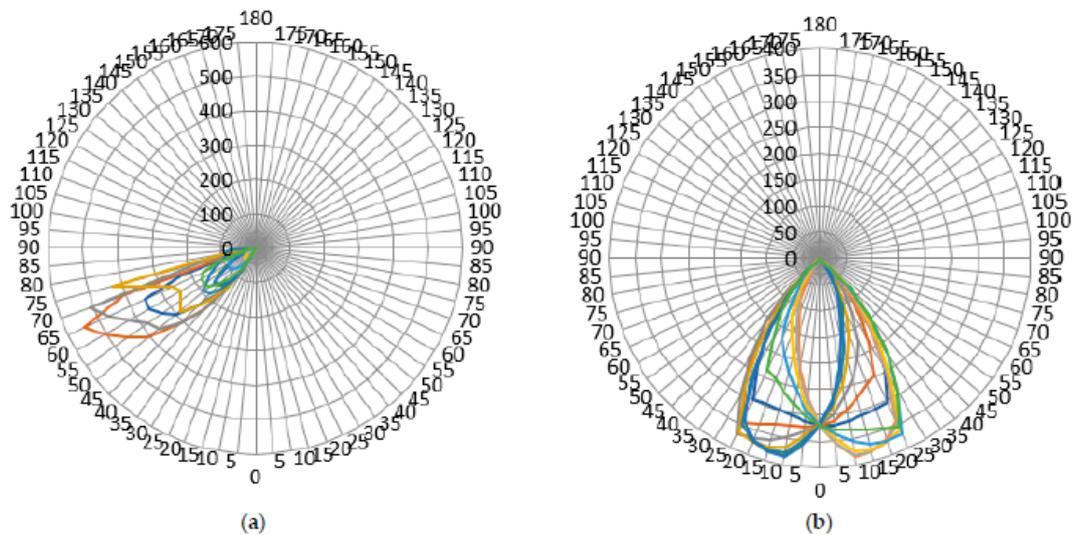


Figura 43

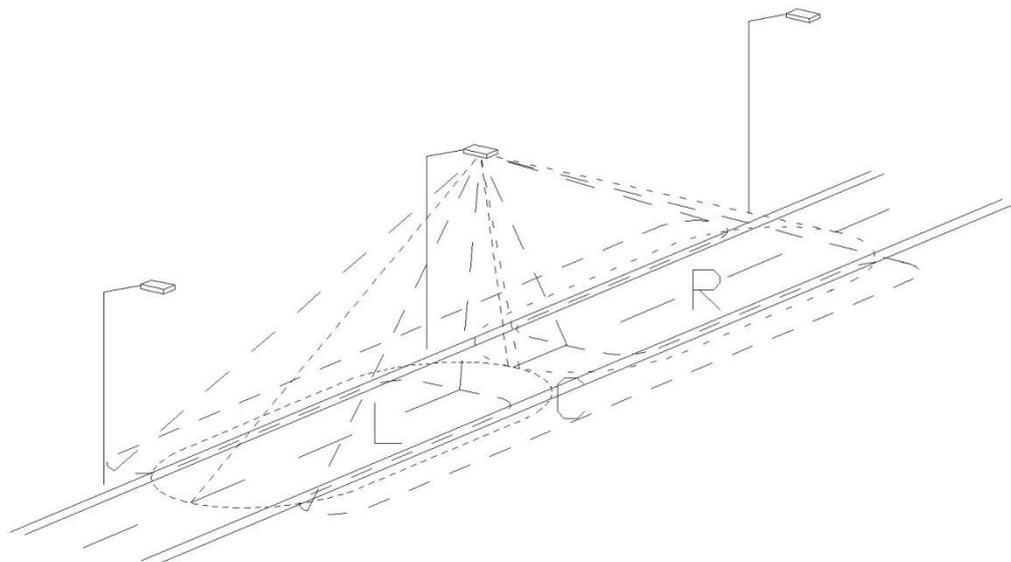


Figura 44

Un tale apparecchio che opera in un sistema di illuminazione avanzato deve ricevere maggiori informazioni rispetto a un classico apparecchio di illuminazione controllato in modo uniforme dappertutto. Per trarne pieno vantaggio, non basta informarlo che un utente si sta avvicinando e la luce deve essere attivata o che un utente è appena passato e che un altro utente non si sta avvicinando, quindi la luce deve essere attenuata. Un apparecchio a tre zone necessita di informazioni aggiuntive, come da quale lato si sta avvicinando l'utente. Queste informazioni vengono poi trasformate in comandi per determinare quali parti dell'apparecchio devono essere accese in un dato momento e quali le parti devono rimanere spente e per quanto tempo.

Come mostrato nella Figura seguente, se l'utente si avvicina a un particolare apparecchio da sinistra, le sezioni sinistra e centrale sono illuminate. Se l'utente si avvicina da destra, le parti destra e centrale sono illuminate. Se un altro utente si avvicina ad una lampada già parzialmente illuminata, la risposta dipende dalla direzione da cui

provengono gli utenti. Se è dalla stessa direzione dell'utente precedente, nessun cambiamento viene attivato nel sistema e l'apparecchio di illuminazione rimane illuminato. Se proviene dalla direzione opposta, allora la terza parte dell'apparecchio finora rimasta inattiva viene accesa. Non appena l'utente passa davanti all'apparecchio, le parti dell'apparecchio di illuminazione che non sono necessarie per garantire condizioni di illuminazione adeguate per altre gli utenti vengono disattivate.

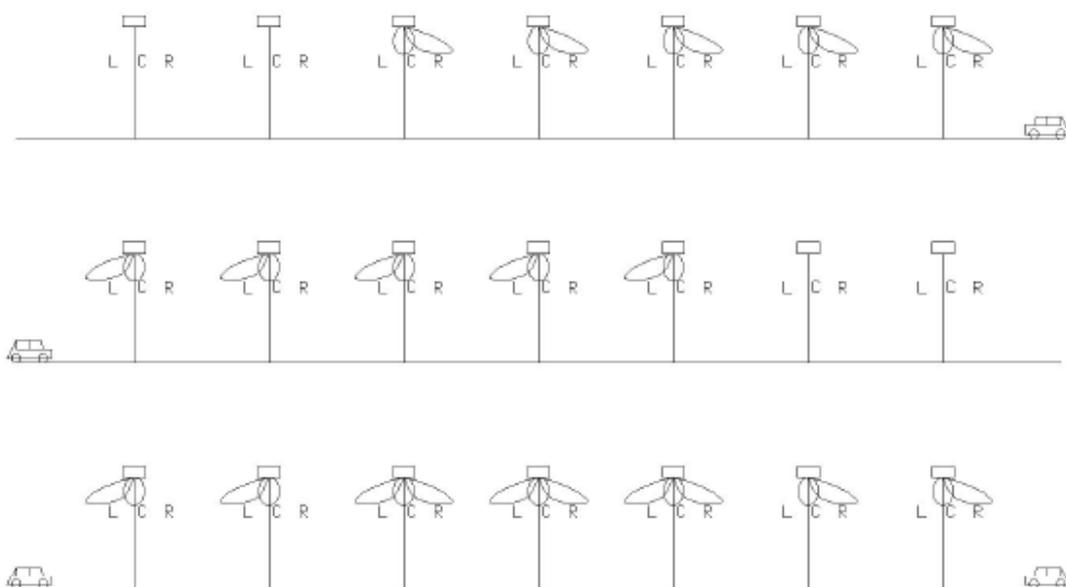


Figura 45

### 8.2.1. Analisi

L'uso di apparecchi a tre zone ha senso solo laddove un sistema convenzionale dell'illuminazione simultanea che controlla gli interi apparecchi di illuminazione funzionerà correttamente. Rispetto a questo sistema, il pieno utilizzo delle possibilità degli apparecchi a

tre zone consentirà di risparmiare fino al 33%. Tale risparmio si verifica nel caso più favorevole dell'illuminazione, quando il manto stradale mostra una maggiore lucentezza, ad es. come asfalto (tipo di pavimentazione R3). Possono essere utilizzati anche apparecchi con controllo indipendente delle tre zone di illuminazione per ridurre il consumo di energia elettrica negli impianti di illuminazione permanente. Ad esempio, potrebbero essere utilizzati per illuminare strade a doppia carreggiata con direzioni di traffico divise o strade a senso unico. In una situazione del genere, ci saranno due parti che lavoreranno continuamente: la parte centrale e la parte sinistra o destra, rispettivamente, alla disposizione degli apparecchi. La parte inattiva in condizioni di funzionamento tipiche può essere attivata a seconda della necessità, ad esempio, in casi di emergenza in cui è necessario spostare il traffico in entrambe le direzioni su una delle carreggiate o la necessità di sbloccare il flusso del traffico. In questi casi, l'uso di apparecchi di illuminazione a tre zone consente di ridurre i consumi energetici del 20%.

## 9. Conclusioni

I sistemi di telecontrollo per l'illuminazione pubblica assumeranno un ruolo sempre più importante in futuro e il loro corretto funzionamento sarà indispensabile in ogni città. In un mondo in cui non ci si può più permettere di sprecare energia e risorse, i sistemi di telecontrollo sono fondamentali per abbattere i consumi di elettricità derivanti dall'illuminazione pubblica. Rendendo sempre più intelligente l'intera infrastruttura dedita all'illuminazione, l'obiettivo di illuminare meglio e in maniera più consapevole le strade di ogni città sarà raggiunto. Non è un caso che le nuove normative siano orientate su questa strada, con l'adozione del sistema TAI-FAI ad esempio, spingendo dunque verso l'illuminazione adattiva, con i sistemi che saranno in grado di leggere non solo dati legati all'illuminazione stradale, ma anche dati legati alle condizioni del traffico, il monitoraggio della qualità dell'aria e delle condizioni ambientali in generale, promuovendo azioni urbane mirate e trasferibili sul clima e migliorando la sicurezza stradale attraverso l'individuazione di condizioni ambientali basate su dati meteorologici e sul traffico. In tal modo, si faciliterà ulteriormente l'attuazione dei più rigorosi standard in materia di sicurezza stradale, politiche di mitigazione del clima, politiche di adattamento e iniziative urbane orientate a un utilizzo più responsabile delle risorse energetiche.

Per far sì che tutto ciò avvenga e i sistemi di telecontrollo per l'illuminazione pubblica si diffondano in maniera capillare nelle città, si dovrà abbattere ciò che al momento ha penalizzato maggiormente lo sviluppo e la diffusione dei sistemi di telecontrollo nelle città, ovvero l'elevato costo iniziale che scoraggia non poco le autorità locali, che solitamente non dispongono di budget elevati, e che quindi non sono invogliati ad investire in un progetto che sicuramente si ripaga nel tempo, ma non nell'immediato. Inoltre, si dovranno risolvere i problemi di affidabilità dei sensori, che spesso inviano false segnalazioni, i problemi di obsolescenza della rete su cui si appoggia l'intero sistema di telecontrollo ma soprattutto il

problema legato alla gestione dei dati personali e i relativi problemi di privacy di ogni singolo individuo che popola le città.



## 10. Bibliografia

- [1] Gianni Pasolini, Paolo Toppan, Flavio Zabini, Cristina De Castro, Oreste Andrisano, *Design, Deployment and Evolution of Heterogeneous Smart Public Lighting Systems*, 9, 2019
- [2] Kee Keh Kim, Simon Lau Boungh Yew, Mohamad Hafizan Affandi, Lee Kong Chian, *An Energy-efficient Smart Street Lighting System with Adaptive Control based on Environment*, *Borneo Journal of Sciences and Technology*, Volume (2), Issue (1), Pages: 48-57
- [3] Y M Jagadeesha, S Akilesha, S Karthika, Prasantha, *Intelligent Street Lights*, *Procedia Technology* 21, 2015, 547 – 551
- [4] Zalewski S., *Advanced ControlLED Road Lighting System Concurrent with Users*. *Energies*, 2021, 14, 7454.
- [5] UNI 11248: *Illuminazione stradale e selezione delle categorie illuminotecniche*, 2016.
- [6] Schröder. *Owlet IoT – Soddisfa oggi le esigenze di domani*, 2016.
- [7] Schröder. *Owlet Nightshift – Smart control for efficient lighting*, 2014.
- [8] Reverberi - Enetec, *Opera*, 2018.
- [9] Ricardo Alvarez, Fabio Duarte, Dennis Frenchman, Carlo Ratti, *Sensing Lights: The Challenges of Transforming Street Lights into an Urban Intelligence Platform*, 2022
- [10] Andrea Mancinelli, *Adaptive Lighting Test Report Rimini-Piacenza*, 2021
- [11] R. Gareri. P. Di Lecce, M. Frascarolo, A. Mancinelli, G. Rossi, *Life-Diademe: Un progetto innovativo IOT nell'illuminazione adattiva della smart city*, 2019
- [12] Reverberi – Enetec. *Sistemi di telegestione e sensori intelligenti per lo smart lighting e la smart city*, 2018
- [13] Y.S. Chang, R.K. Sheu, G.T. Wu. *Control point locating scheme of street light network in urban environment*, 2017.

[14] T. Braun, B. C. Fung, F. Iqbal, and B. Shah, *Security and Privacy Challenges in Smart Cities*,

*Sustainable Cities and Society* 39, 2018, 499–507

[15] D. Jin, C. Hannon, Z. Li, P. Cortes, S. Ramaraju, P. Burgess, N. Buch, and M. Shahidehpour,

*Smart Street Lighting System: A Platform for Innovative Smart City Applications and a*

*New Frontier for Cyber-Security, The Electricity Journal* 29: 10, 2016 28–35.